



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMULI SALONEN
PEITELAITEKONSEPTIEN KEHITYS JA ARVIOINTI
Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Ellman
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Teknisten
tieteiden tiedekuntaneuvoston kokouksessa
3. joulukuuta 2014

TIIVISTELMÄ

SALONEN, SAMULI: Peitelaitetekonseptien kehitys ja arviointi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 109 sivua, 40 liitesivua

Huhtikuu 2015

Konetekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Avainsanat: skiploader, peitelaitte, konseptikehitys

Tämän diplomityön aihe on saatu Cargotec-konserniin kuulavalta Hiabilta. Työssä on tavoitteena kehittää konsepteja skiploader-vaihtolavalaitteen kuorman peittämiseen ja valita näistä paras. Suunnittelutyön lähtökohtana on skiploader-malli, joka tyypillisesti asennetaan kaksiakselisen kuorma-auton päälle. Skiploaderin sivuilla ovat nostovarret, joilla lava nostetaan kyytiin ja lasketaan alas kuormaketjujen varassa vaakasuorassa roikkuen. Tavallisesti skiploader-autolla kuljetetaan esimerkiksi sekalaista rakennusjätettä ja kierrätysmateriaalia urbaanissa ympäristössä. Kuorman lavalla pysyminen tulee lain mukaan varmistaa ajon aikana, mikä johtaa peitelaitteen tarpeeseen.

Ennen konseptien kehittämistä työssä tutustuttiin kohdemarkkinoilla jo oleviin peitelaitteisiin ja kerättiin näistä keskeisimmät tiedot. Tämän jälkeen kartoitettiin peitelaitteelle asetettavat vaatimukset sekä määriteltiin laitteen päätehtävä. Päätehtävän perusteella laadittiin toimintorakennekaavio, jota voidaan käyttää verifiointin apuna tuotekehitysprosessin loppuvaiheessa. Konseptien kehittämistä varten etsittiin monipuolisesti ideoita sekä tehtiin alustava patenttiselvitys kilpailijoiden patenttitilanteen ja tekniikan tason kartoittamiseksi. Konsepti-ideoiden etsimisen keinona käytettiin myös TRIZ-ongelmanratkaisumenetelmää. Kerätyn pohjatiedon ja ideoinnin perusteella muodostettiin konseptivaihtoehtoja lavan peittämiseen, esimerkiksi hahmottelemalla erilaisia mekanismeja ja tutkimalla niiden geometrioiden toimivuutta. Toteutettavuuden arvioimiseksi tarkasteltiin peitelaitteisiin soveltuvia toimilaitte- ja komponenttivaihtoehtoja.

Konsepteille tehtiin kaksi valinta- ja kehityskierrosta. Ensimmäiseen valintaan otettiin mukaan 12 konseptia, joista karsintakriteerien perusteella eteni jatkokehitykseen kaksi. Molemmissa peite on alkutilanteessa rullalla, josta se sähkömoottorikäyttöisen mekanismin avulla levitetään kuorman päälle. Toisessa peiterulla liikkuu skiploaderin sivuun asennettavia kiinteitä johteita pitkin ja toisessa rullaa liikutetaan nivelöidyillä varsilla. Näistä jälkimmäiselle sekä yhdelle olemassa olevalle vertailulaitteelle laadittiin laskentamallit, joilla selvitettiin ensisijaisesti toimilaitteiden voimat. Lopullisessa arvioinnissa olivat mukana mainitut kaksi omaa konseptivaihtoehtoa sekä vertailun vuoksi kaksi parasta kilpailevaa peitelaitetta. Arvioinnin valintataulukosta tehtiin kaksi eri painotusversiota, joiden molempien tuloksena eniten pisteitä sai nivelöidyillä varsilla varustettu konsepti.

Valitussa konseptissa yhdistyvät parhaiden kilpailevien peitelaitteiden hyvät puolet. Konseptilaitte on yksinkertainen, mutta täyttää silti kaikki asetetut vaatimukset. Peittämisläike tapahtuu jousivetoisesti ja palautus kotiasemaan sähkömoottorilla kelaten. Uutta, verrattuna markkinoilla jo oleviin skiploaderin peitelaitteisiin, on vaijerin käyttäminen avausvarsien voiman välityksessä, minkä ansiosta voidaan hyödyntää vapaita tiloja skiploaderissa. Valitun konseptin mukaisen laitteen katsotaan olevan potentiaalinen lisä toimeksiantajayrityksen tuotteistoon. Seuraava vaihe diplomityön jälkeisessä kehitysprosessissa on yksityiskohtien viimeistely, prototyypin valmistus sekä testaaminen.

ABSTRACT

SALONEN, SAMULI: Cover system concept development and evaluation

Tampere University of technology

Master of Science Thesis, 109 pages, 40 Appendix pages

April 2015

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Design of Machines and Systems

Examiner: Professor Asko Ellman

Keywords: skiploader, cover system, concept development

The topic of this master's thesis came from Hiab, which is a part of Cargotec Corporation. The aim is to develop concepts for covering loads of a truck mounted demountable system called skiploader. Skiploader model in this thesis is usually mounted on a 2-axle truck. A skip container is lifted onto the skiploader with the lifting arms on both sides of the skiploader. The container is hanging from load chains, and remains horizontal during the lifting process. Skip containers are commonly used for transporting construction waste and recyclable material in urban environment. During road transportations the cargo has to be securely covered, which is why there is a need for the cover system.

Information of existing cover systems on the target markets was gathered before the actual concept development. Then the requirements and the main function of the cover system were specified. Based on the main function, a function structure scheme was created to be used for verification purposes, later in the product development process. Ideas for the concepts were sought widely, and a preliminary patent search was carried out to find possible patents of the competitors. Second objective of the patent search was to become aware of the state of the art solutions of cover systems. One source of concept ideas was a problem solving method called TRIZ. With the information and ideas, a set of cover system concepts were created. Development was done for instance by sketching mechanisms and fitting them on a model of the skiploader. In addition, actuators and other components applicable for cover systems were scoped.

Two development and selection rounds were carried out. In the first elimination there were 12 concepts, and two of them were chosen to be developed further. On both of them a cover sheet roll is unrolled by an electric motor operated mechanism. In the first of the two concepts, the sheet roll moves along curved guides mounted on the sides of the skiploader. In the other one, jointed arms are the means to move the sheet roll. To find out the required actuator forces, calculation models were made for the last-mentioned concept and a reference cover system. In the final evaluation there were two above-mentioned concepts and two best alternative cover systems. Two evaluation matrices with different weight coefficients were made, and both of them showed that the best option is to choose the concept with the jointed arms.

The chosen concept is a combination of the advantages of the best cover systems on the market. The concept is simple, yet it fulfills all the design requirements. Covering movement is spring-driven and the sheet is rolled to the home position by a direct drive electric motor. What is new in the field of skiploader cover systems is the use of wire rope to transmit the actuator forces. This allows making use of free spaces in the skiploader structures. The chosen concept is considered to be a potential addition to Hiab product range. After this thesis, the next phase in the development process would be the finishing of detail design, making a prototype and testing it.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tekeminen sisälsi monipuolisesti mielenkiintoisia ja opettavaisia konseptikehitystehtäviä. Tavoitteena ollut peitelaitteen konseptin kehittäminen oli osa projektia, jossa pääosassa oli skiploader-vaihtolavalaitteen uudistaminen. Aiheen tarjosi Cargotec, jonka Raision toimipaikassa sain mahdollisuuden jo kahtena aiempänä kesänä tutustua vaihtolavalaitteiden ja kuorma-autojen maailmaan. Raision toimipaikan henkilökunnasta esitän kiitokset Esa Myllärille ja Jussi Katajaiselle diplomityöhön liittyvästä opastuksesta ja aiheeseen perehdyttämisestä. Kiitos myös muille Multiliftin tuotekehitysosaston työntekijöille, jotka tarjosivat ideoita ja vaihtoivat ajatuksia peitelaittekonseptien kehitystyön aikana. Työn tarkastajana toiminutta Tampereen teknillisen yliopiston professori Asko Ellmania kiitän asiantuntevasta työn ohjauksesta. Rahoituksen järjestämisestä kiitos kuuluu Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiölle.

Suuret kiitokset ystävilleni, joiden ansiosta opiskeluaika Tampereella jää mieleeni hienona elämänvaiheena. Erityiskiitokset esitän vanhemmilleni ja veljelleni, jotka ovat olleet tukenani opiskelun sekä koko muunkin elämäni aikana.

Tampere, 24.3.2015



Samuli Salonen

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta, tavoitteet ja rajausta.....	1
1.2	Toteutus ja raportin rakenne.....	2
2	Taustatiedot	5
2.1	Yritys.....	5
2.2	Skiploader	6
2.3	Peitelaite.....	8
2.4	Kilpailevat peitelaitteet	9
3	Konseptikehityksen perusteita ja menetelmiä.....	11
3.1	Tuotekehitysprosessi yleisesti.....	11
3.2	Vaatimukset.....	13
3.2.1	Asiakasvaatimukset	13
3.2.2	Vaatimusmäärittely	14
3.3	Tehtävän pelkistäminen ja oleelliset toiminnot.....	16
3.3.1	Abstrahointi	16
3.3.2	Toimintorakennekaavio	17
3.4	Konseptien kehittäminen.....	18
3.4.1	Pohjatietoa ideoinnille	18
3.4.2	Ideointi	19
3.4.3	Patenttiselvitys	20
3.5	TRIZ.....	21
3.5.1	TRIZin peruskäsitteet ja käyttö.....	23
3.5.2	TRIZin apuvälineitä ratkaisun etsimiseen	25
3.6	Konseptien valinta.....	26
3.6.1	Ensimmäinen karsinta.....	27
3.6.2	Parhaan konseptivaihtoehdon valinta	28
4	Konseptien perusta	29
4.1	Vaatimukset peitelaitteelle	29
4.1.1	Asiakasvaatimukset	29
4.1.2	Kilpailutilanteen asettamat vaatimukset	30
4.1.3	Ensimmäinen vaatimuslista	31
4.2	Toimintorakenne	38
4.3	Ennen uusien ideoiden muodostamista	40
4.3.1	Patenttijulkaisuja.....	40
4.3.2	Ideoita muusta tekniikasta ja luonnosta	42
4.4	TRIZ-ideointia.....	44
4.4.1	Ristiriitoja peitelaitteen systeemissä	44
4.4.2	Resursseja	47
4.4.3	Luovista periaatteesta vinkkejä käytännön ratkaisuun	49
4.4.4	Peitelaite ja kehityslait	50
5	Ensimmäinen konseptien kehityskierros.....	51

5.1	Alkuvaiheen konsepti-ideoita.....	51
5.2	Peitelaittekonseptien yhteisiä piirteitä.....	52
5.3	Konseptivaihtoehtojen esittely	53
5.3.1	A.....	54
5.3.2	B.....	56
5.3.3	C.....	58
5.3.4	D.....	61
5.3.5	E.....	62
5.3.6	F.....	63
5.3.7	G.....	64
5.3.8	H.....	65
5.3.9	I.....	66
5.3.10	J.....	67
5.3.11	K.....	69
5.3.12	L.....	69
5.4	Näkökulmia toimilaitteiden valintaan	70
5.4.1	Sähkömoottori ja vaihde	70
5.4.2	Hydrauliikka ja pneumatiikka.....	71
5.4.3	Jouset energiavarastona	72
5.5	Muita peitelaitteen komponentteja	73
5.5.1	Voiman ja tehon välitys	73
5.5.2	Magneetit	74
5.5.3	Peitelaitteen rakenteet	74
5.5.4	Peitteet	75
5.6	Konseptivaihtoehtojen ensimmäinen arviointi.....	76
6	Konseptivaihtoehtojen jatkokehitys ja parhaan valinta	79
6.1	Konseptivaihtoehto C.....	79
6.1.1	Umpinaiset sivut	79
6.1.2	Kelkan liikuttaminen ja johdekehikon rakenne	81
6.2	Konseptivaihtoehto J.....	82
6.2.1	Rakenne ja toiminta	82
6.2.2	Laskentamallit.....	84
6.3	Vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen	86
6.3.1	Vertailuun otettavat olemassa olevat peitelaitteet	86
6.3.2	Konseptien ja vertailupeitelaitteiden lopullinen arviointi.....	88
7	Tulosten tarkastelu	94
7.1	Konseptien kehityksen ja valinnan tarkastelu.....	94
7.2	Konseptivaihtoehdot C ja J TRIZ-näkökulmasta.....	96
7.3	Peitelaittekonseptien jatkokehittäminen ja suositukset.....	97
8	Johtopäätökset.....	99
	Lähteet.....	102

Liite 1: Peitelaitteita

Liite 2: TRIZ 40 luovaa periaatetta

Liite 3: Lista muistiin kerätyistä patenttijulkaisuista

Liite 4: Hydraulisen peitelaitteen laskentamalli

Liite 5: Konseptivaihtoehdon J laskentamalli

TERMIT JA LYHENTEET MÄÄRITELMINEEN

abstrahointi	Tuotekehityksen vaihe, jossa vaatimuslistaa pelkistämällä saadaan selville tuotteen päätehtävä. (Pahl et al. 2007).
alleajosuoja	Alleajosuoja estää matalan ajoneuvon työntymisen kuorma-auton alle törmäystilanteessa. Käytetään auton sivuilla ja takana. (URP, engl. <i>underrun protection</i>).
alustanpidennys	Valinnainen levykomponentti skiploaderin etuosassa, jonka pituudesta riippuen skiploaderilla voidaan kuljettaa erikoisia lavoja.
avausvarsi	Joissakin peitelaitteissa oleva osa, joka liikuttaa peiterullaa tai peitteen reunaa.
skiploader	Keinukippilaite (engl. <i>skiploader</i>). Kuorma-auton päälle asennettava vaihtolavalaite. Isolla alkukirjaimella kirjoitettuna Hiabin tuotemerkki. Liitteessä 1 käytetään lyhennettä sl.
kippikuokku	Skiploaderin takaosassa olevat kääntyvät koukut, jotka mahdollistavat skip-lavan kippaamisen.
konsepti	Tuotekehityksessä konsepti on tuotteen karkea alustavan tason kuvaus, joka määrittelee tuotteen keskeisimmät piirteet ja ominaisuudet. Konsepti on tuote ilman tarkkoja yksityiskohtia ja fyysistä toteutusta.
kotiasema	Peitelaitteen tila, jossa lava ei ole peitettyä. Kotiasemassa peite on säilytyksessä, kun peitelaitte ei ole käytössä.
kuormaketju	Skip-lava roikkuu nostovarsista kuormaketjujen varassa.
nostovarsi	Skiploaderin kummallakin sivulla oleva pääakseliin nivelöity varsi, jolla skip-lavaa liikutellaan, hydraulisylinterien voimalla.
ohjaamonsuoja	Skiploaderin etuosassa oleva rakenne, joka suojaa kuorma-auton ohjaamoa.
peitelaitte	Skiploaderiin asennettava laite, joka konevoimalla peittää skip-lavan ja palauttaa peitteen takaisin kotiasemaan.
peiterulla	Yleisesti peitelaitteissa käytettävä osa, jossa peite on kiedottuna putken ympärille. Voi olla jousijännitteinen.
peittämisliike	Peitelaitteen suorittama liike, joka alkaa kotiasemasta ja johtaa lavan peittymiseen.

psykologinen inertia	Alitajuinen puolustusreaktio uudenlaisia ideoita vastaan, joka suuntaa ajatukset kohti tuttuja ratkaisuja.
pääakseli	Skiploaderin takaosassa oleva rakenne, jossa nostovarret ja kippikoukut ovat kiinni.
radio-ohjaus	Radiotaajuudella toimiva skiploaderin kauko-ohjaus. Valinnaisvaruste.
sivupalkki	Skiploaderin alustan sivuilla olevat pitkittäiset palkit.
skip-lava	Vaihtolavatyyppejä, joka on tarkoitettu kuljetettavaksi skiploaderilla. Tilavuus tavallisesti 3–20 m ³ .
tangentiaalinen kiinnitys	Yhdessä työn peitelaitekonseptissa käytettävä vaijerin kiinnitystuki, jonka ansioista vaijerin voiman vipuvarsi pysyy vakio pituisena.
tuotekehitys	Joukko toimintoja, jotka alkavat tuoteideasta ja kehitysprosessin kautta johtavat tuotejulkaisuun. Tavallisesti tuotekehitystä tehdään järjestelmällisen prosessin muodossa.
CAD	Computer Aided Design, suom. tietokoneavusteinen suunnittelu. CAD-ohjelmalla voidaan tehdä 2- tai 3-ulotteisiin malleihin perustuvaa suunnittelua.
CHEM	Container Handling Equipment Manufacturer's Association. Vaihtolavalaitevalmistajien järjestö Britanniassa.
et al.	lat. et alii tai et aliae, suom. ja muut
SLT 142	Toimeksiantajayrityksen Hiab-merkkinen skiploader-malli, johon peitelaitekonsepteja tässä työssä kehitetään. Nostokapasiteetti 14 tonnia.
TRIZ	теория решения изобретательских задач, <i>teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch</i> (ven.). (engl. <i>the theory of inventive problem solving</i>). Kokoelma työkaluja teknisen ongelman analysointiin ja ratkaisuun.

1 JOHDANTO

On varhainen syystalven aamu, ja maa sekä kuorma-auto ovat lian ja loskan peittämät. Auton kuljettaja katsoo ylitäytettyä lavaa täynnä epämääräistä purkujätettä ja tietää, että tuo on peitettävä ennen kuljetusta. Hän hakee auton säilytyslaatikosta puolihallitussa mytyssä säilytettävän verkkopeitteen ja levittää sen vaivalloisesti kuorman yli. Kun peite on riittävän hyvin paikallaan, kuljettaja kiinnittää vielä kiristysnarut lavan rakenteisiin, kuten on ohjeistettu. Vähintään kolmen minuutin valmistelujen jälkeen lava on valmis nostettavaksi kuorma-auton kyytiin. Lopulta työmaa-alueelta tielle kaartaessaan kuljettaja näkee hetken mielessään kuvan toisenlaisesta maailmasta, jossa kuorman peittäminen tapahtuu itsestään ja vieläpä nopeasti, lämpimästä hytistä nappia painamalla.

1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rajaus

Tämän diplomityön aihe liittyy edellä kuvailtuun skenaarioon. Se on saatu Cargotec-konserniin kuuluvan Hiabin Raisen toimipaikasta. Työn tarkoituksena on kehittää konseptiratkaisuja keinukippityylisen vaihtolavalaitteen kuorman peittämiseen. Keinukippilaitte on vaihtolavalaite, jossa lava nostetaan kuorma-auton kyytiin vaakasuorassa ketjuista roikkuen kahden nostovarren avulla. Keinukippilaitteen englanninkielinen nimi on *skiploader*, ja tässä valitaan, että jatkossa laitteesta käytetään termiä skiploader. Skiploaderilla kuljetettavat kuormat vaihtelevat koostumukseltaan ja muodoltaan, mutta joka tapauksessa on tärkeää varmistaa kuorman pysyminen lavalla ajon aikana.

Suomen tieliikennelakiin perustuva asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä vaatii suojaamaan kuorman kuormapeitteellä, jos on olemassa riski, että kuorma ei pysy lavalla ja esimerkiksi pölyää tai varisee tielle ajoviiman vaikuttaessa. Kuorman varmistamiseksi on käytettävä tuentaa, sitomista, lukitsemista tai peittämistä. (A 4.12.1992/1257 1992.) Samankaltainen lainsäädäntö on voimassa muuallakin. Kuorman peittämisen voi tehdä esimerkiksi levittämällä pressun tai verkon kuorman ja lavan päälle käsin, mutta helpompi ja turvallisempi tapa on käyttää jonkinlaista peitelaitetta.

Tässä työssä tavoitteena on kehittää vähintään yksi toimiva peitelaittekonsepti, jonka avulla kuorman peittäminen tapahtuu täydellisesti ja jonka käytössä tarvitaan mahdollisimman vähän työtä käyttäjältä. Lopussa valitun konseptivaihtoehdon on oltava sellainen, että se on helppo kehittää tuotantoon asti. Valmiin peitelaitteen tulee olla niin hyvin toimiva ja houkutteleva, että asiakas valitsee sen lähes poikkeuksetta lisävarusteena hankkiessaan Hiabin Multilift Skiploaderia (Katajainen 2014). Peitelaitteen tulee sopia toiminnallisesti ja muotoilunsa puolesta hyvin skiploaderin yhteyteen (emt.). Lisäksi peitelaitteen ja kehitystyön kustannukset on otettava huomioon tuotekehitysprosessin alusta alkaen.

Joillakin skiploader-valmistajilla on tarjolla myös omia peitelaitteita, minkä lisäksi on olemassa erityisesti peitelaitteisiin keskittyviä yrityksiä. Jotta vältettäisiin vanhojen asioiden keksimistä uudestaan, on aluksi päästävä selville tekniikan tasosta ja tutustuttava kilpaileviin laitteisiin. Hiabin valikoimissa ei ole aikaisemmin ollut omaa peitelaitetta skiploaderille, joten hyvän peitelaitetekonseptin löytyminen voi johtaa parempaan kilpailuasemaan. Parhaassa tapauksessa työssä syntyy uudenlainen kuormanpeittämiskeino, joka on kilpailijoita kilpailukykyisempi. Nykyään Multilift Skiploaderin yhteyteen asennetaan jälkikäteen muiden valmistajien peitelaitteita, mutta yhteensopivuus näissä ei ole riittävän korkeatasoinen (Katajainen 2014). Yhtenä vaihtoehtona on hankkia peitelaitte valmiina joltakin valmistajalta ja sovittaa se mahdollisimman hyvin Multilift-skiploaderiin. Tulevan peitelaitteen pääasiallinen markkina-alue on Iso-Britannia ja toiseksi tärkein Saksa, joissa kummassakin skiploaderit ovat suosittuja. (emt.)

Tämän suunnittelutyön yhtenä resurssisidonnaisena lähtökohtana on, että koko kuljetusprosessia ei yritetä kerralla uudistaa. Peitelaitteen suunnittelu on osa toista suunnittelu- ja uudistusprojektia, joka on ajallisesti alle vuoden mittainen. Aika ei siis riitä laajaan tutkimus- ja kehitystyöhön, koska peitelaitteen suunnittelu on lähes kokonaan vain tämän diplomityön varassa. Työhän rajataan kuuluvaksi tuotekehityksen alun vaiheita vaatimusmäärittelystä ja ideoinnista konseptin valintaan. Yksityiskohtaista suunnittelua voidaan tehdä joidenkin keskeisimpien komponenttien osalta, mikäli konseptin valinta tätä edellyttää. On pidettävä mielessä, että koko konseptivaihtoehdon tulee olla järkevä, eli esimerkiksi mahdollisten sähkö-, hydraulikka- ja ohjausjärjestelmien sekä rakenteiden tulee olla käytännössä toteutettavissa olevia.

1.2 Toteutus ja raportin rakenne

Työ toteutetaan konstruktiivisena tutkimuksena, jonka päämääränä on tuottaa toteutuskelpoinen ja kilpailukykyinen peitelaitetekonsepti. Työssä tullaan etsimään vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

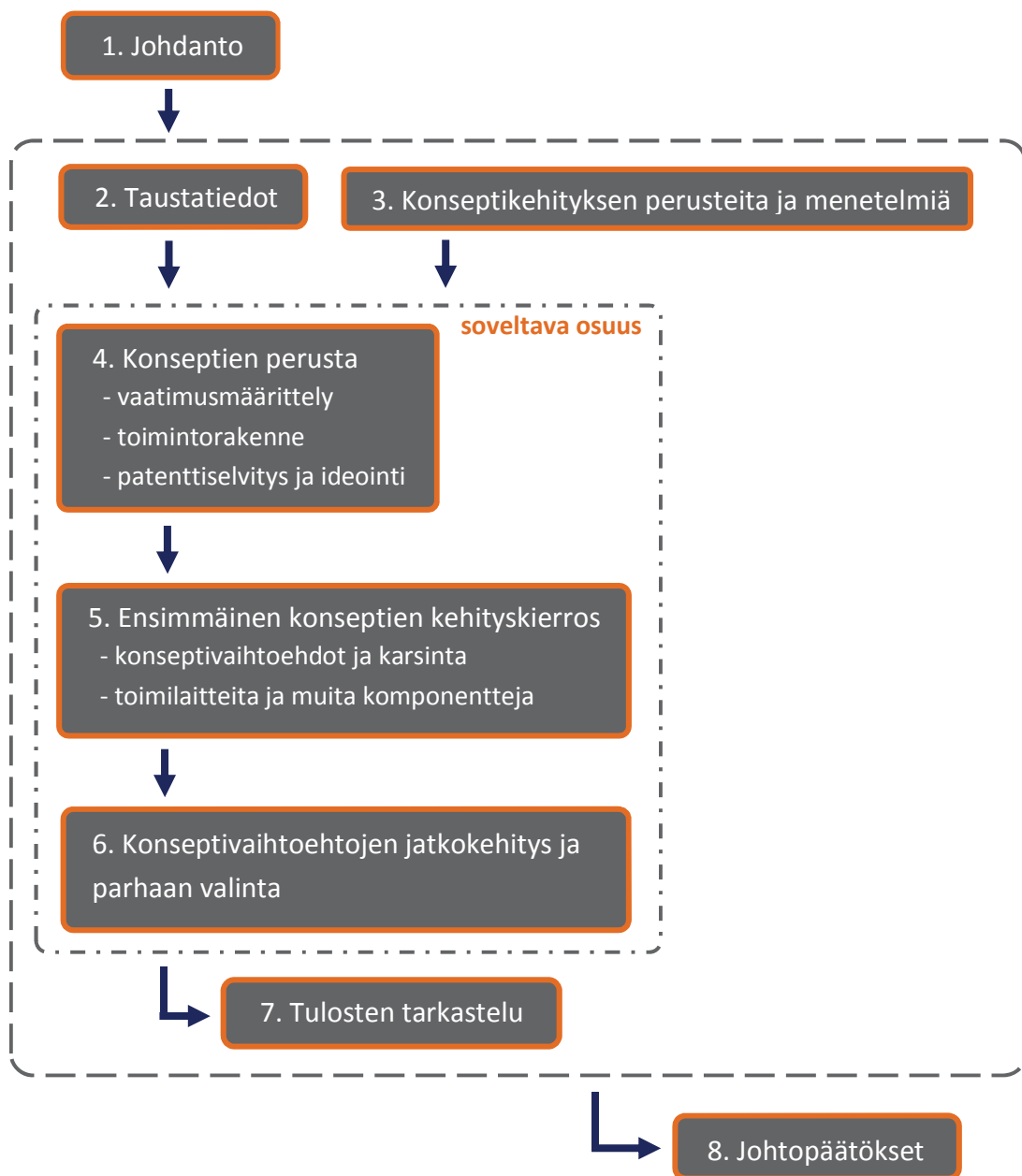
1. Miten konseptikehitys ja konseptien arviointi tehdään?
2. Minkälaisia peitelaiteratkaisuja on jo olemassa?
3. Mitä peitelaitteelta vaaditaan?
4. Mitä erilaisia lavan peittämisen toteutusmahdollisuuksia keksitään?
5. Mikä on paras ratkaisu esille tulleista vaihtoehdoista?

Kolmeen ensimmäiseen kysymykseen pyritään löytämään vastaukset konseptikehitystä käsittelevästä kirjallisuudesta sekä olemassa oleviin peitelaitteisiin tutustumalla. Peitelaitteisiin ja niille analogisiin tuotteisiin perehdytään patenttitietokannan ja muun internet-materiaalin avulla. Peitelaitteiden markkinointimateriaalien tutkimisen ja kuvahakujen keinoin selvitetään kaupallisten peitelaitteiden keskeisimmät tekniset ominaisuudet. Alustavalla patenttiselvityksellä pyritään välttämään mahdollisten patenttien loukkaminen sekä ideoiden uudelleen keksiminen. Vaatimukset peitelaitetekseptille määritellään kerätyn tiedon ja konseptikehityksen teorian perusteella. Konseptisuunnittelun tu-

kena käytetään tutkimismenetelmänä peitelaitekonseptin sekä olemassa olevan peitelaitteen mekaniikan matemaattista mallintamista Mathcad-ohjelmalla.

Peitelaittekonseptia kehittämällä etsitään vastaus neljänteen tutkimuskysymykseen. Mikäli työssä esitetyille ideoille ja muille aikaansaannoksille ei esitetä lähdettä, ne ovat kirjoittajan omaa tuotantoa. Potentiaalisia konseptteja on tavoitteena kehittää mahdollisimman monta ja lopulta valita näistä paras vaihtoehto. Valinta pyritään tekemään mahdollisimman objektiivisesti ja valinnan myötä saadaan vastaus viimeiseenkin kysymykseen.

Kuvassa 1.1 on esitetty tämän diplomityön rakenne. Johdannossa esitellään lyhyesti työn aihe ja sisältö. Katkoviivan sisäpuolelle merkityt luvut sisältävät työn taustatiedot, aiheeseen liittyvän teoriaosuuden sekä soveltavan osuuden. Soveltava osuus, eli konseptien kehitysprosessi ja valinta on rajattu erikseen pistekatkoviivalla.



Kuva 1.1. Diplomityön sisältö ja rakenne.

Työn toisessa luvussa kerrotaan aiheen tarjonneesta yrityksestä, skiploaderista sekä peitelaitteista. Kolmannessa luvussa käsitellään yleisesti tuotekehitysprosessia ideoinnista konseptin valintaan, sekä kerrotaan, mistä ideoita konseptikehitykseen voidaan yleisesti saada. Luvussa 4 rakennetaan perusta peitelaittekonseptien kehitykselle. Ensimmäisenä tehdään vaatimusmäärittely, jonka jälkeen muodostetaan peitelaitteen toimintorakennekaavio. Seuraavana ovat vuorossa alustava patenttiselvitys ja ideointi, joita käytetään apuna muodostettaessa viidennessä luvussa esiteltäviä peitelaittekonsepteja. Esittelyjen jälkeen suoritetaan konseptivaihtoehtojen ensimmäinen karsinta. Konseptien arvioinnin tukemiseksi tarkastellaan myös joitakin mahdollisia peitelaitteiden komponenttivaihtoehtoja.

Kuudennessa luvussa käsitellään ensimmäisessä karsinnassa valittujen konseptien jatkokehitystä sekä tehdään lopullinen arviointi, jossa valitaan paras konseptivaihtoehto. Arvioinnissa on vertailun vuoksi mukana kaksi olemassa olevaa peitelaitetta. Seitsemännessä luvussa tehdään yhteenveto työn soveltavasta osuudesta sekä tarkastellaan saatuja tuloksia, eli parhaita konseptivaihtoehtoja. Lisäksi luvussa 7 esitetään jatkokehitysehdotuksia peitelaittekonsepteille. Työn päättävässä Johtopäätökset-luvussa pohditaan työn toteutusta, onnistumista sekä tulosten merkitystä.

2 TAUSTATIEDOT

Tässä luvussa esitellään aluksi työn aiheen tarjonnut Cargotec, sekä sen liiketoiminta-alueet keskeisimpine tuotteineen. Tämän jälkeen kerrotaan Hiabin Multilift tuotteista ja erityisesti skiploaderista. Luvun lopun aiheena ovat yleisesti kuorma-autojen peitelaitteet, tarkemmin skiploaderien peitelaitteet sekä oman konseptin kanssa kilpailevat skiploaderien peitelaitteet.

2.1 Yritys

Cargotec on maailmanlaajuisesti toimiva lastinkäsittelyratkaisuja toimittava konserni, jonka tuotteita on käytössä muun muassa laivoissa, satamissa, terminaaleissa, raskaassa teollisuudessa, jakelukeskuksissa ja ajoneuvojen kuormankäsittelyssä. Cargotec koostuu kolmesta liiketoiminta-alueesta, jotka ovat MacGrecor, Kalmar ja Hiab. MacGrecor tarjoaa kuorman- ja lastinkäsittelyratkaisuja sekä huoltopalveluja merikuljetus- ja offshore-alalle. Kalmar tuotteisiin kuuluvat kontin- ja lastinkäsittelylaitteet sekä näiden huoltopalvelut. Hiabin tarjooma koostuu erilaisista maakuljetuksiin ja jakeluun soveltuvista tuotteista ja huoltopalveluista. Cargotecilla on omia työntekijöitä 48 maassa ja toimintaa yli 100 maassa. (Cargotec 2014a.)

Hiabin tuotteisiin kuuluvat Hiab-kuormausnosturit, Hiab Loglift -puutavaranosturit, Hiab Jonsered -kierrätysmateriaalinosturit, Hiab Moffet -ajoneuvotrukit, Zepro-takalaitanostimet sekä Hiab Multilift -vaihtolavalaitteet. Kaikkia näitä käytetään tielikenteen kuormankäsittelytehtävissä, yleensä asennettuna kuorma-auton päälle. Laitteita on käytössä muun muassa kierrätysalalla, metsäteollisuudessa, rakennusalalla, jakelutoiminnoissa sekä puolustussektorilla. (Cargotec 2014b.) Asiakkaita ovat esimerkiksi kuljetusyritykset, kunnat ja valtiot, kuorma-auto-yrittäjät, vuokrauspalveluyritykset sekä kuorma-autovalmistajat (Hiab 2014a).

Yksi Hiabin Suomen toimipisteistä sijaitsee Raisiossa, jossa tehdään pääasiassa Multilift tuotteiden kokoonpanoa ja tuotekehitystä sekä Loglift-nosturien tuotekehitystä. Multilift vaihtolavalaitteiden tarinan katsotaan alkaneen vuonna 1947, jolloin Mikko, Mauno sekä Matti Terho kehittivät vinssin ja vaijerin avulla toimivan vaihtolavalaitteen. Multilift Oy perustettiin 1949 ja se siirtyi Raisioon vuonna 1961. 1968 Multilift myytiin Sponsor Oy:lle, jolta sen osti suomalainen Partek vuonna 1977. Partekin toiminta itsenäisenä pörssiyhtiönä päättyi vuonna 2002, kun Partek liitettiin osaksi Kone Oyj:tä. Cargotec oli entisen Partekin yksi liiketoimintayksikkö ja liitoksen jälkeen se keskittyi pelkästään lastinkäsittelyliiketoimintaan. Vuonna 2005 Cargotec Oyj irrotettiin erilliseksi pörssiyhtiöksi Kone Oyj:stä. (Teräväinen 2005.)

Hiabin Multilift päätuotteita ovat vaihtolavalaitteet. Kuorma-auton päälle asennetulla vaihtolavalaitteella saavutetaan suurempi auton käyttöaste, koska lavan kuormaamista tai tyhjentämistä ei tarvitse odottaa. Vaihtolavalaitteilla lava voidaan nostaa auton tai perävaunun kyytiin ja laskea se takaisin maahan sekä kipata. Multilift-vaihtolavalaitteita on kolmea tyyppiä: koukkutyyppinen XR tai XP, vaijeritoiminen XC sekä skiploader SL. Suosituin malli on koukkulaite, jolla lava nostetaan kyytiin lavan etureunaan kiinnitetystä vetolenkistä, laitteen takaosan rullia pitkin vetämällä. Veto tapahtuu hydraulisylintereillä toimivalla varsistolla, jonka päässä on koukku. Vaijerilaitteella lava nostetaan laitteen etuosassa olevien kahden hydraulisen vaijerivinssin avulla vetämällä. (Hiab 2014b.) Vaijerilaitteen markkinat ovat huomattavasti suppeammat kuin koukkulaitteen, ja se on poistumassa Hiabin tuotteistosta kokonaan. Joissakin maissa valikoimaan kuuluu myös kuorman peittämiseen tarkoitettuja laitteita. Easycover-laite perustuu vaakatasossa aukeavaan saksimekanismiin, joka avaa peitteen lavan etupuolella säilytettävältä rullalta. Multicover-laitteessa hydraulikalla toimivat nivelöidyt varret lavan sivuilla levittävät peitteen. (Hiab 2014c.) Lisäksi saatavilla on esimerkiksi yhdessä koukkulaitteiden kanssa toimivia laitteita ISO-standardin mukaisten konttien käsitteilyyn. Multilift-tuotteita käyttävät erilaisten kuljetus- ja maansiirtoyritysten lisäksi muun muassa kuntien jätehuoltopalvelut ja pelastuslaitokset sekä armeijat. Seuraavassa luvussa kerrotaan tarkemmin skiploaderista.

2.2 Skiploader

Skiploaderin mallimerkintä on SL, tarkemmin SLT tai SLF. SL on lyhenne englannin kielen sanoista *skip loader* ja T tarkoittaa teleskooppia (engl. *telescopic*). F-malli on perusrakenteeltaan muuten kuin SLT, mutta siinä ei ole teleskooppisia nostovarsia. Skiploader isolla alkukirjaimella, yhteen kirjoitettuna on Multilift-keinukippilaitteen tuotenimi. Saatavilla on kahta eri kokoa, nostokapasiteeteiltaan 14 ja 19 tonnia. Näistä pienempi asennetaan yleensä kaksiakselisen, noin 18 tonnin kokonaispainoisen kuorma-auton päälle ja suurempi kolmiakselisen, noin 26 tonnisen. (Hiab 2014d.) Uusi peitelaitte suunnitellaan ensisijaisesti pienemmän keinukippilaitteen yhteyteen. Skiploaderilla kuljetettavaa lavaa kutsutaan skip-lavaksi (engl. *skip bin*).

Multilift-skiploaderien tärkeimpiä markkina-alueita ovat Iso-Britannia ja Saksa sekä muun muassa Yhdistyneet arabiemiirikunnat. Skiploadereita käytetään myös esimerkiksi Australiassa sekä Yhdysvalloissa, jossa skiploader-laitteella varustettu kuorma-auto tunnetaan nimellä *lugger truck*. Skiploadereita käytetään erityisesti lyhyillä etäisyyksillä jätteiden ja kierrätysmateriaalien kuljetuksissa, urbaanissa ympäristössä. Esimerkiksi rakennus- ja purkujätteiden, metalliromun, paperin tai muovien kuljetus skiploaderilla on tyypillistä käyttöä. Maansiirtokäyttökin on mahdollista, mutta harvinaista. Skiploader altistuu käytössä tavallisesti muun muassa lialle ja iskuille, esimerkiksi nostettava lava voi törmätä nostovarsiin tai laite voi osua ahtaiden kulkuväylien esteisiin.

Skip-lavat ovat pieniä verrattuna esimerkiksi koukkulaitteiden lavoihin, joten ne soveltuvat hyvin käytettäväksi kaupunkiympäristössä. Iso-Britanniassa noin 70 % kuljetetta-

vista lavoista on tilavuudeltaan 3–9 m³ (Mylläri 2014). Noin 29 % on kokoa 9–12 m³ ja 1 % on kooltaan 12–20 m³ (emt.). Saman nimelliskoon lavoja on olemassa erimuotoisia, esimerkiksi sivusta katsottuna symmetrisiä ja epäsymmetrisiä. Lavojen yksityiskohdat, kuten tukirakenteet ja kiinnityspisteiden muotoilu, vaihtelevat käytettävien standardien ja valmistajien mukaan.

Kuvassa 2.1 on Hiabin pienempi Multilift-skiploader, SLT 142. Kuvassa vasemmalla skip-lava on skiploaderin alustan (engl. *platform*) päällä, kuten se on kuljetuksen aikana. Lava tukeutuu alustalla säädettäviin vasteisiin pitkittäis- ja sivusuunnassa. Alustaa reunustavat sivupalkit, jotka yhdistyvät takana teleskooppisiin tukijalkoihin. Skiploaderin sivuilla ovat teleskooppiset nostovarret, joita käytetään hydraulisilla pääsylintereillä. Nostovarret ovat sarananivelillä kiinni laitteen takaosan pääakselissa. Teleskooppiosia käyttävät sylinterit ovat nostovarsien sisällä. Kummankin nostovarren yläpäässä ovat kiinni kuormaketjut, joiden vapaissa päissä on lenkit, lukituksella varustetut tai yleisemmin lukituksettomat. Ketjujen lenkit kiinnitetään käsin skip-lavan nostokoukkuihin. Usein takimmaisat kuormaketjut kiristetään kuljetuksen ajaksi teleskooppeja ulos ajamalla.

Lavan takana kuvassa näkyvät pneumatiikalla toimivat kippikoukut, jotka on käännetty yläasentoon. Kuvassa 2.1 oikealla nostovarsien teleskooppeja on ajettu hieman ulos ja kippaus on juuri aloitettu. Kippauksessa kippikoukut tarttuvat lavassa oleviin tankoihin, jolloin nostovarsia taakse ajettaessa lava alkaa kallistua. Kun lava nostetaan kyytiin tai kyydistä, kippikoukut käännetään ala-asentoon ja tukijalat ajetaan alustaa vasten. Skiploaderin ohjaus tapahtuu yksinkertaisimmillaan suoraan venttiilistön yhteydessä olevista mekaanisista vivuista laitteen jommassakummassa etukulmassa. Muina vaihtoehtoina ovat ohjaamoon sijoitettu pneumaattinen ohjaus sekä langaton radio-ohjaus. Radio-ohjauksen ansiosta kuljettaja voi käyttää laitetta paikassa, josta hän näkee laitteen toiminnan ja ympäristön parhaiten. (Hiab 2014d; Cargotec 2012.)



Kuva 2.1. Multilift SLT 142 kuljetusasennossa ja kippauksen alussa (Hiab2013).

Skiploaderin etuna verrattuna muihin vaihtolavalaitteisiin on sen kyky nostaa lava ilman nostokulmaa. Toisin sanoen lavan pohja pysyy lähes vaakatasossa koko nostoliikkeen ajan. Nostovarsien muotoilusta ja lavan kiinnityksestä riippuen lava voidaan nostaa esteen, esimerkiksi matalan aidan yli.

Työssä käytetään apuna valmista skiploaderin 3D-mallia. Tämän avulla voidaan CAD-ohjelmassa muun muassa mitata erilaisia käytettävissä olevia tiloja sekä hahmotella peitelaitteen konsepteja tai osaratkaisuja. Hahmotelmia voidaan tehdä esimerkiksi mitoitettuina 2D-piirroksina tai 3D-malleina.

2.3 Peitelaitte

Kuorman peittämistä käytetään varmistamaan kuorman pysyminen lavalla ja mahdollisesti myös säältä suojassa. Peite on tavallisesti joko harvasilmäinen verkko, kudottu tiheä verkko tai yhtenäinen pressu. Se on yleensä valmistettu jostakin polymeeristä, kuten polyvinyylikloridista, polyesteristä, polyuretaanista, polypropyleenistä tai näiden yhdistelmistä. (Intercon 2014.) Halvin tapa kuorman peittämiseen on levittää ja kiinnittää peite lavan päälle käsin. Käsin peittämisen ja peitteen avaamisen yhteydessä on yleensä kiivettävä kuorman ja lavan päälle tai skiploaderin päälle lavan viereen, mihin sisältyy aina putoamisen riski (HSE 2014). Epämääräisen kuorman päällä tai kapeilla jalansijoilla liikkuminen, korkean kuorman tasaaminen, peitteen levittäminen tai kiristäminen altistaa lipeämislle ja putoamiselle. Myös tuuli saattaa aiheuttaa peitteen äkillisen heilahduksen, mikä voi horjuttaa peittäjän tasapainoa (emt.)

Jos kuormaa ei voida turvallisesti jättää peittämättä, käsin peittämistä turvallisempi tapa on käyttää jonkinlaista peitelaitetta, jota käyttäessään kuljettajan ei tarvitse kiivetä mihinkään. Peitelaitteita on saatavilla niin kippilava-autoihin kuin erilaisiin vaihtolavalaitteilla varustettuihin kuorma-autoihinkin. Tyypillisesti peite säilytetään rullalla, josta se jonkin mekanismin avulla avataan. Usein mekanismi kuljettaa peitteen reunaa tai rullaa lavan pitkittäissuunnassa. Lavan suoja voi olla myös esimerkiksi luukkurakenne tai toisiinsa saranoiduista paloista muodostuva. Lisäksi käytössä on avoimen puoliperävauunun ja kippilavojen peitelaitteita, joissa peite aukeaa sivulta sivulle. Peitelaitteiden käyttövoima saadaan yleensä vaihteellisesta sähkömoottorista, pneumatikasta tai hydraulikasta ja energian varastoinnissa käytetään usein hyväksi jousia. Käytössä on myös kertakäyttöisiä niin sanottuja ruiskutettavia peitteitä, jotka muodostuvat kuorman päälle ruiskutettavasta jähmettyvästä muovin ja veden seoksesta. (HSE 2014.) Suurempien lavojen ja skip-lavojen peitelaitteet ovat samankaltaisia ja usein sama laite voi sopia molempiin tarkoituksiin, esimerkiksi avausmekanismin varsien mittoja tai toimilaitteiden kokoa muuttamalla. Myös pienempiin, esimerkiksi pakettiautokokoisiin lava-autoihin on tarjolla erilaisia lavan peittäviä ratkaisuja.

Skiploaderien yhteyteen tarkoitettuja peitelaitteita on markkinoilla kolmea päätyyppiä. Yksinkertaisin vaihtoehto on laite, jossa skiploaderin etuosaan on kiinnitetty korkeussäädettävä peiterulla, josta kuljettaja vetää peitteen narun avulla lavan päälle. Tämän jälkeen peite kiinnitetään manuaalisesti. Toinen vaihtoehto ovat jonkinlaiset peitteen

avaavat varret, jotka kuljettavat peiterullan taakse ja käyttäjän tehtävänä on kiinnittää peitteen reuna skiploaderin takaosaan. Tämän jälkeen varret palaavat kotiasemaansa vetäen peitteen auki. Kolmas vaihtoehto on laite, joka tarvitsee käyttäjältä vain ohjauskomennot, esimerkiksi vivun vääntämisen tai keinukytkimen painamisen. Näitä kutsutaan yleisesti automaattisiksi peitelaitteiksi ja noin 80 % Iso-Britanniassa myytävistä peitelaitteista on näitä (Katajainen 2014). Kuitenkin kaikissa kolmessa vaihtoehdossa voidaan toisinaan joutua tekemään peitteen lisäliepeiden levitys ja peitteen reunan kiristysnarujen kiinnitys käsin. Tämä tulisi kuitenkin minimoida.

Lavan peittäminen nappia painamalla tai vivusta vääntämällä on ergonomiankin kannalta parempi ratkaisu, kuin käsin peittäminen tai narusta vedettävä peite. Konevoimalla toimiva järjestelmä on parempi kuin manuaalinen, koska käyttäjän ei tarvitse käyttää omaa voimaa, epäedullisissa olosuhteissa ja asennoissa. Jos skiploader on radio-ohjattu, voisi peitelaitteen ohjaus tapahtua samasta ohjaimesta. Peitelaitetta käyttämällä voidaan saavuttaa turvallisuuden ja edullisemman ergonomian lisäksi myös taloudellista hyötyä, sillä peitelaitte säästää aikaa (HSE 2014). Ajansäästö merkitsee suurempaa määrää kuljetuksia aikayksikköä kohden. Esimerkiksi skiploadereita ja peitelaitteita tarjoavan brittiläisen Harshin (Harsh 2010) markkinointimateriaalin mukaan eräs asiakas ehtii automaattista peitelaitetta käyttämällä kuljettamaan jopa kaksi ylimääräistä lavaa päivässä verrattuna manuaaliseen peittämiseen. Näin ollen peitelaitte tuottaa tämän asiakkaan mukaan päivässä 270 £ (emt.).

2.4 Kilpailevat peitelaitteet

Tässä työssä on tarkoituksenaan kehittää konsepteja edellä määritellyistä niin sanotusta automaattisista peitelaitteista. Ennen omien vaihtoehtojen kehittelyä on tarkasteltava, minkälaisia tuotteita markkinoilta jo löytyy. Pahl et al. (2007) sekä Ulrich ja Eppinger (2008) suosittelevat tekemään omaan tuotteeseen liittyvien tuotteiden benchmarking-tutkimusta, joka voi käsittää esimerkiksi kilpailijoiden tuotteita, omia vanhoja tuotteita tai yksittäisiä tuotteen toimintoja. Toisaalta tähän sisältyy riski, että jo keksityt tuotteet ohjaavat ajattelua liikaa, mutta toisaalta taas varmistetaan, ettei kehitetä vahingossa samanlaista tuotetta uudestaan (Pahl et al. 2007, s. 82). Myöhemmin työssä tehdään myös alustava patenttiselvitys, jotta päästään selville peitelaitteisiin liittyvistä keksinnöistä ja näiden mahdollisista tuotesuojauksista.

Liitteessä 1 on esitetty tärkeimmät Saksan ja Ison-Britannian markkinoilla olevat automaattiset peitelaitteet vertailutaulukossa. Taulukkoon on kerätty keskeisiä tietoja laitteista valmistajien markkinointimateriaalin ja vapaasti saatavilla olevien kuvien perusteella. Taulukon neljä ensimmäistä kohtaa käsittelevät laitteiden rakennetta ja kaksi seuraavaa suorituskykyä. Seuraavat kohdat ovat lanseerausvuosi ja hinta, ja näitä seuraavat arvioita hyvistä ja huonoista puolista. Viimeiseen kohtaan on kerätty erityisiä tai muihin kohtiin sopimattomia tietoja. Taulukko kattaa yhdeksän laitetta, jotka sopivat Multilift SLT 142 -kokoisen skiploaderin kanssa käytettäväksi. Brittiläisten valmistajien laitteita on seitsemän ja alankomaalaisia kaksi.

Vertailun laitteista perusrakenteeltaan ja toiminnaltaan keskenään samankaltaisia ovat Hyva Autosheet System, Transcover VCover, VBK VDC-300 sekä Euro Skips Sheeting System. Näissä peite avataan kiinteillä jousikuormitteisilla varsilla, joiden nivelpiste on korokkeen päällä skiploaderin sivulla. Peite kelataan takaisin ohjaamon takana sijaitsevalle rullalle sähkö- tai hydraulimoottorilla. Toisen pääryhmän muodostavat Boughton Engineering Intacova, Transcover SkipCover, Shur-Co Xcalibur Automatic Sheeting System sekä Harsh Skip Flip. Näissä liikutetaan peiterullaa hydraulisyntereillä toimivilla kaksiosaisilla varsilla. Peitteen vapaa reuna on kiinnitetty skiploaderin etuosaan. Muista poikkeava rakenne on Shur-Co Skip 9000 Sheeting System -laitteessa, jossa rullaa pyörittävä sähkömoottori liikkuu rullan mukana. Rulla on kiinni jousikuormitteisessa taittuvassa kehikossa, joka on kiinnitetty skiploaderin sivupalkin alle.

Syksyllä 2014 julkaistiin lisäksi uusi skiploader-peitelaite, Transcover UnderCover. Se toimii samalla periaatteella kuin Multiliftin Multicover-peitelaite, eli varsistossa on leveyssäätö, jolloin peitelaite mahtuu ajoasennossa skiploaderin ulkomittojen sisäpuolelle. Peittämistilanteessa varret vievät peiterullan taakse, kuljettaja kiinnittää peitteen reunan ja varret vetävät peitteen lavan päälle palatessaan kotiasemaan. Manuaalista työtä on näin ollen liikaa, jotta laitetta voitaisiin pitää edellä määritellysti automaattisena. Ongelmallista on myös varsien kotiasema skiploaderin sivupalkkien alla, jossa ne vievät jo valmiiksi ahdasta tilaa. Laitetta ei siis voida ottaa mukaan vertailuun.

3 KONSEPTIKEHITYKSEN PERUSTEITA JA MENETELMIÄ

Luvussa 3 käydään läpi tässä työssä tarvittavia tuotekehitysprosessin alkupään perusmenetelmiä ja periaatteita. Aluksi esitellään, miten tuotekehitys tavallisesti etenee, jonka jälkeen kerrotaan, miten asiakasvaatimuksista ja muista lähtötiedoista päädytään konseptin valintaan.

3.1 Tuotekehitysprosessi yleisesti

Normaalisti tuotteen kehitysprosessi noudattaa pääpiirteittäin yleistä systemaattista ongelmanratkaisua. Ensin tehtävään tutustutaan ja kerätään tietoa siihen liittyen. Tämän jälkeen määritellään, mikä vaikuttaa tehtävän ratkaisemiseen, esimerkiksi mitä rajoituksia ja vaatimuksia on. Seuraavaksi luodaan ratkaisuja, minkä jälkeen ratkaisuja arvioidaan ja tehdään päätös parhaasta vaihtoehdosta. Näiden vaiheiden välillä arvioidaan, voidaanko siirtyä seuraavaan vaiheeseen, tarvitaanko lisätietoa vai lopetetaanko koko prosessi välittömästi. Vaiheiden välillä voidaan tehdä iteraatiota eli edellisiin vaiheisiin voidaan palata, jos tälle ilmenee tarvetta. (Pahl et al. 2007, s. 127.)

Ulrichin & Eppingerin (2008) ja Pahl et al. (2007, s. 129) määrittelemät tuotekehityksen prosessimallit ovat edellä kuvatun ongelmanratkaisuprosessin mukaisia. Ulrich & Eppinger (2008) jakavat prosessin kuuteen päävaiheeseen (0-5), jotka vapaasti suomennettuna ovat:

- Tehtävän selkeytys
- Konseptinkehitys
- Järjestelmätason suunnittelu
- Yksityiskohtainen suunnittelu
- Testaus ja jatkokehittely sekä
- Tuotannon aloitus.

Ensimmäisen vaiheen jälkeen tulisi olla selvillä kehitysprosessin tavoite, liiketoiminnalliset tavoitteet ja kohdemarkkinat. Tuloksena on vaatimuslista, josta käyvät ilmi suunnittelun rajoitukset ja toiveet. Tämä on vaihe, joka kannattaa tehdä huolellisesti, koska kustannukset ovat pienet ja vaikutus lopputulokseen on suuri. Mitä pitemmälle kehitysprosessissa edetään, sitä kalliimmaksi muutosten tekeminen muuttuu. Toisessa vaiheessa luodaan konseptitason ratkaisuja, joista vaiheen lopussa valitaan sopivin tai sopivimmat. Kolmannessa vaiheessa suunnitellaan konseptiin pohjautuen hahmotelma tuotteen rakenteesta ja moduulijaosta, tuotteen alatasen systeemien toiminnot sekä kokoonpanon toteutus. Neljännessä vaiheessa suunnitellaan tuotteen tarkat yksityiskohdat, esi-

merkiksi valitaan komponentit sekä luodaan valmistusdokumentit. Kaksi viimeistä vaihetta ovat testaus ja hienosäätö sekä tuotannon aloitus. Vaiheiden lopussa arvioidaan aikaansaatuja tuloksia. (emt.) VDI 2221 -tuotekehitysmalli on seitsemänvaiheinen, mutta sisällöltään sama kuin Ulrichin ja Eppingerin (2008) (Pahl et al. 2007, s. 19). Pahl et al. (2007, s. 129) määrittelevät neljä päävaihetta käsittävän teknisen tuotteen kehitysprosessin, joka vastaa Ulrichin ja Eppingerin (2008) vaiheita 0-3.

Systemaattisen tuotekehitysprosessin noudattaminen auttaa suunnittelutyön hallinnassa, varmistaa tuotteen laadun ja helpottaa tuotekehitysr ryhmän roolijakoa, koska prosessi on jaettu selkeisiin kokonaisuuksiin (Ulrich & Eppinger 2008). Tietyn tuotekehitysprosessimallin noudattaminen auttaa etenemään järjestelmällisesti kohti lopputulosta ja kasvattaa hyvien ratkaisujen löytymisen todennäköisyyttä. Erityisesti uudenlaisten tuotteiden suunnittelussa systemaattisen kehitysprosessin noudattaminen on hyväksi havaittu. Systemaattinen menetelmä ei sellaisenaan kuitenkaan riitä takaamaan hyvää tuotetta, vaan pitää käyttää myös esimerkiksi intuitiivista ajattelua. (Pahl et al. 2007)

Systemaattista tuotekehitysprosessia tukevia menetelmiä ovat muun muassa analysointi, abstrahointi, synteesi ja systemaattinen variointi. Ongelma-analyysissä ratkaistava ongelma määritellään tarkasti ja jaetaan pienempiin osiin, joihin etsitään ratkaisuja erikseen. Rakenneanalyysillä voidaan esimerkiksi tutkia olemassa olevia rakenteita, ja järjestelmän heikkojen kohtien analysointi voi johtaa uusiin ratkaisuihin. Konseptikehitysvaiheen alkupuolella tehtävällä abstrahoinnilla selvitetään kehitettävän tuotteen perustehtävä lähtien vaatimusmäärittelystä. Tämä auttaa vähentämään ennakoasenteiden vaikutusta. Synteesi tarkoittaa asioiden yhdistämistä siten, että syntyy toimivia kokonaisuuksia. Synteisillä voidaan yhdistää analyysin osaratkaisuja, pitäen mielessä, että osien on toteutettava tietty kokonaistehtävä. Systemaattista variointia voidaan tehdä, kun ratkaisusta on olemassa jonkinlainen hahmotelma, esimerkiksi karkean tason piirustus. Tätä varioimalla on mahdollista luoda uusia ratkaisuvaihtoehtoja. (Pahl et al. 2007, s. 58–61.) Pahl et al. (2007) toteavat, että mitään menetelmää ei kannata käyttää vain sen itsensä vuoksi, vaan ainoastaan, kun siitä on oletettavasti hyötyä. Tärkeimmiksi osoittautuneita menetelmiä ovat tehtävän systemaattinen määrittely ja vaatimuslistan laatiminen (Pahl et al. 2007, s. 567). Motten (2008) mukaan systemaattiset suunnitteluprosessit pyrkivät olemaan yleispäteviä, mutta niitä joudutaan yleensä soveltamaan tilanteen ja kohteen mukaan. Systemaattisen teknisen tuotteen suunnitteluprosessin noudattaminen voi auttaa etenkin aloittelevia suunnitteluinsinöörejä, mutta kokeneelle suunnittelijalle voivat riittää omat tiedot ja kokemus (emt.).

Tässä työssä tuotekehitys aloitetaan vaiheesta, jossa tehtävän selkeytystä on jo aloitettu, muun muassa kartoittamalla asiakasvaatimuksia ja määrittelemällä tuoteidea. Kyseessä on niin sanottu mukautuva suunnittelu (engl. *adaptive design*), jossa pyritään kehittämään tuotetta olemassa olevien ratkaisuja mukaillen ja parannellen (Pahl et al. 2007, s. 64). Työ on rajattu siten, että suunnitteluprosessissa edetään konseptien valintaan asti. Vaatimusmäärittelyn kautta myös tuotteen elinkaaren myöhemmät vaiheet tulevat huomioon otetuiksi.

3.2 Vaatimukset

Vaatimuslistan laatiminen on tärkeä osa tuotekehitysprosessia ja tehtävän selkeyttämistä (Pahl et al. 2007, s. 145). Vaatimusmäärittelyyn perustuu muun muassa tuotteen verifiointi, jossa tarkistetaan onko konsepti tai tuote asetettujen vaatimusten mukainen. Peite-laitteen vaatimusmäärittely esitetään tämän työn luvussa 4.

3.2.1 Asiakasvaatimukset

Tuotteen vaatimusten perustana ovat yleensä asiakasvaatimukset. Usein perusvaatimukset on kirjattu tuotteen tilaussopimukseen. Uutta tuotetta kehitettäessä nykyisiltä tai potentiaalisilta asiakkailta voidaan kerätä erilaisilla menetelmillä suunniteltavaan tuotteeseen liittyviä toiveita ja tarpeita. Jos mahdollista, käytetään menetelmiä, joilla pystytään löytämään myös piileviä tarpeita. Osa tarpeista on niin itsestään selviä, että niitä ei lausuta ääneen. Jos nämä niin sanotut implisiittiset tarpeet kuitenkin jäävät täyttämättä, ei tuote todennäköisesti menesty. Esimerkkinä implisiittisistä tarpeista ovat auton kääntyvät pyörät tai mahdollisimman matalat käyttökustannukset. (Pahl et al. 2007, s. 150.)

Pahl et al. (2007, s. 151) mukaan tuotteen houkuttelevuus ja kiinnostavuus (engl. *attractiveness*) on tärkeä ominaisuus, joka voi erottaa menestyvän tuotteen kilpailijoista. Asiakas ei kuitenkaan halua yleensä maksaa lisähintaa houkuttelevammasta tuotteesta. Esimerkiksi oletettavaa on, että ostaja voi valita autoonsa mieleisensä värin ilman lisähintaa. (Pahl et al. 2007.) Tuotteen tulee tuoda asiakkaalle enemmän hyötyä kuin kustannuksia. Kustannuksia ovat esimerkiksi hankintahinta, koulutus tuotteen käyttöön, prosessimuutokset, verot ja vakuutukset. Hyötyjä ovat muun muassa kasvavat tulot, vähentyneet rahalliset kustannukset, ajansäästö ja maineen koheneminen. (Belliveau et al. 2002.)

Kerätyt asiakasvaatimukset kannattaa muotoilla ja järjestää tietyllä tavalla. Ulrich ja Eppinger (2008, s. 62) ehdottavat seuraavia muotoiluja asiakasvaatimuksille:

- Muotoillaan tarve siten, että se ilmoittaa, mitä tuotteen tulee tehdä, ei miten.
- Pidetään tarkkuus samalla tasolla kuin alkuperäisessä datassa
- Pyritään positiiviseen muotoon
- Ilmaistaan tarve tuotteen ominaisuutena
- Vältetään sanoja täytyy ja pitäisi
- Järjestetään asiakasvaatimukset hierarkkisesti ja
- Asetetaan asiakasvaatimukset tärkeysjärjestykseen.

Tärkeysjärjestyksen määrittelyssä voidaan käyttää apuna asiakasta itseään. Asiakasvaatimusten järjestäminen hierarkkisesti voidaan jättää tekemättä, mikäli kyse on yksinkertaisesta tuotteesta ja vaatimuksia on vähän.

Asiakas näkee tuotteen ulkomuodon ja käyttöliittymän, joten ne tulee ottaa huomioon vaatimuksia määriteltäessä. Mitä enemmän vuorovaikutusta käyttäjän ja tuotteen välillä on, sitä tärkeämpää on perehtyä tuotteen ergonomiaan ja käytettävyyteen. Käytön pitäisi olla itsensä selittävää ja helppoa oppia. Huollon ja korjausten tulisi olla helppoja

suorittaa, jos niitä ei pystytä välttämään kokonaan. Tuotteen ulkomuoto vetoaa varsin kin kuluttaja-asiakkaan tunteisiin, joten mitä enemmän tuote on näkyvillä, sitä tärkeämpää on perehtyä myös tuotteen estetiikkaan. (Ulrich & Eppinger 2008, s. 192.)

3.2.2 Vaatimusmäärittely

Tuotteen vaatimusmäärittelyn perustana ovat asiakasvaatimukset sekä parhaiden kilpaillevien tuotteiden ominaisuudet. Kilpailijoista voidaan saada tietoa esimerkiksi benchmarking-tutkimuksella (Ulrich & Eppinger 2008, s. 74). Asiakasvaatimukset ovat yleensä laadullisia ja hyvin yleisellä tasolla, joten niitä on tarkennettava ja tulkittava, jotta saadaan selville tuotteen vaatimukset. Vaatimukset tulisi pääsääntöisesti muuttaa määrälliseen (kvantitatiiviseen) muotoon, sillä mitattavissa olevien vaatimusten täyttyminen on helppo todeta mittaamalla. (Pahl et al. 2007 s. 151; Ulrich & Eppinger 2008, s.72; Otto & Wood 2001, s. 284). Ulrich ja Eppinger (2008) suosittelevat vaatimuksen olevan muotoa lukuarvo + mittayksikkö. Kvantitatiivisille vaatimuksille voidaan loogisia operaattoreita käyttäen asettaa ideaaliset ja marginaaliset tavoitearvot sekä paras mahdollinen arvo, jos sellaiset ovat tiedossa (Ulrich & Eppinger 2008, s. 74).

Tuotteen vaatimusmäärittelystä tulisi suunnitteluprosessin alkuvaiheessa käydä selvillä, mitä tuotteen halutaan tekevän, mutta ei miten. Vaatimukset eivät saisi rajoittaa käytännön toteutusta liikaa (Pahl et al. 2007, s. 150; Otto & Wood 2001). Kuitenkin listalle pitäisi tulla vaatimukset, jotka vaikuttavat keskeisesti tuotteen rakenteeseen, esimerkiksi massan tai ulkomittojen rajoitukset (Pahl et al. 2007, s. 155). Nämä perustuvat usein lakeihin tai standardeihin, kuten peitelaitteen tapauksessa esimerkiksi tieliikennelakiin. Lähtökohtana on, että listan vaatimusten välille ei tule loogisia ristiriitoja. (Otto & Wood 2001) Jos esimerkiksi yrityksen tuotantovälineet sallivat tuotteelle tietyn maksimikoon ja asiakas haluaa tätä suuremman tuotteen, on muodostettava kompromissiratkaisu. Toisinaan yrityksen perinteet asettavat ylimääräisiä rajoituksia kehitystyölle (Pahl et al. 2007, s. 150). Jotkin perinteet kannattaa tunnistaa, sillä esimerkiksi tuttujen valmistusmenetelmien hyödyntäminen voi säästää kustannuksia. Uudenlaisia keksintöjä tavoiteltaessa on tärkeää antaa perinteiden tai ennakkoasenteiden ohjata suunnittelua mahdollisimman vähän.

Vaatimusten tarkentaminen asiakasvaatimuksista tuotevaatimuksiksi voidaan tehdä vaiheittain. Jos esimerkiksi asiakas haluaa yksinkertaista huoltoa, on tästä tulkittavissa, että tarvitaan pitkä huoltoväli, yksinkertainen huolto ja huoltotoimenpiteiden tulee olla helposti opittavissa. Edelleen tarkentamalla, esimerkiksi pitkälle huoltovälille voidaan määrittää tuntimääräinen tavoite. Yksinkertainen huolto voi koostua muun muassa sujuvasta suojalevyjen irrotuksesta ja kiinnityksestä sekä riittävästä tilasta huoltotoimenpiteille. Nämä kolmannen tason vaatimukset päätyvät vaatimuslistalle. (Pahl et al. 2007, s.151)

Vaatimusten tunnistamisessa on otettava huomioon tuotteen koko elinkaari. Elinkaaren eri vaiheita voidaan hahmottaa skenaarioiden avulla. Skenaarioissa kuvaillaan, mitä kaikkea tuote kohtaa elinkaarensa aikana, esimerkiksi minkälaisiin käyttötilanteisiin se voi joutua. (Pahl et al. 2007, s. 151–152) Tuotteella on usein tietty käyttötarkoitus, mut-

ta käyttäjät keksivät myös toisinaan uusia, erikoisiakin käyttötapoja. Suunnittelijan tulisi yrittää ennakoida näitä, jotta muun muassa turvallisuusvaatimukset olisivat mahdollisimman yleispäteviä. Esimerkiksi peitelaitetta saatetaan käyttää korkean kuorman tasaukseen.

Vaatimusmäärittelyn laatimisessa voidaan käyttää apuna Pahl et al. (2007, s. 149) esittämää tarkistuslistaa, joka on esitetty taulukossa 3.1. Listaa ei tarvitse seurata orjallisesti, mutta sen avulla voidaan varmistaa vaatimusten kattavuus. Vaatimukset voidaan järjestää esimerkiksi edellä mainitun listan mukaisesti otsikoittain. Vaatimusten jaotteen voi tehdä myös esimerkiksi sen mukaan, miten käytännön suunnittelutyö jaettaisiin tai tuotteen oletettujen funktioiden mukaan (Pahl et al. 2007, s.148). Vaatimusmäärittely voidaan esittää esimerkiksi perinteisessä listamuodossa tai graafisena mallina, esimerkiksi SysML-kaaviona (eng. *Systems Modeling Language*).

Taulukko 3.1. *Vaatimusten tarkistuslista (Pahl et al. 2007, s. 149).*

Kategoria	Selitys
Geometria	mitat, tilavaatimukset, liittynät, ulottumat
Kinematiikka	liikkeen tyyppi ja suunta, nopeus, kiihtyvyys
Voimat	suunta ja suuruus, taajuus, kuorma, energiatyyppi, tehokkuus, kapasiteetti, konversio, lämpötila, hitausvoimat, elastisuus, resonanssi
Energia	teho, kitka, ilmanvaihto, paine, lämpötila, varastointi, tuottaminen, konversiot
Materiaalit	lopullisen tuotteen ominaisuudet, materiaaivirrat, ennalta määrätty materiaalit (esim. ruokateollisuudessa)
Signaalit	input ja output, näyttö, kontrollilaitteet
Turvallisuus	suorat turvajärjestelmät, käytön ja ympäristön turvallisuus
Ergonomia	sopiva ergonomia ja käytettävyyys
Tuotanto	tuotannon rajoitukset, toleranssit, hukka, suositut tuotantomenetelmät
Laadunhallinta	testaamisen ja mittaamisen mahdollisuudet
Kokoonpano	erityisvaatimukset tai -säännöt, asennus, asennuspaikat, DfA
Kuljetus	rajoitukset nostamisen, pakkaamisen ja kuljettamisen takia (korkeus ja paino)
Käyttö	melu, kuluminen, erikoistapaukset, markkinointialue (esim. rikkiäinen ilma, tro-piikki, kylmä pohjola)
Ylläpito	huoltovälit, korjaus (jos tarvitaan), tarkistukset, maalaus, puhdistus
Kierrätys	uudelleenkäyttö, prosessointi, hävittäminen
Kustannukset	valmistus- ja kokoonpanokustannukset, arvonalennus
Aikataulu	aikarajoitukset, projektiaikataulu

Vaatimuslistalle merkitään onko vaatimus ehdoton (engl. *demand*) vai toive (engl. *wish*). Ehdottomien vaatimusten on täytyttävä, jotta konsepti tai tuote voidaan hyväksyä, ja toiveen toteutuminen tuo tuotteelle lisäarvoa, mikäli toive on toteutettavissa koh-tuullisilla kustannuksilla. Vaatimusten alkuperä tai ehdottaja kannattaa merkitä muistiin, koska vaatimuksia voidaan joutua tarkistamaan, esimerkiksi ristiriitatilanteessa. (Pahl et al. 2007, s. 152)

Kaikkia vaatimuksia ei voida tietää tai huomata suunnitteluprosessin alussa, joten listaa on päivitettävä tiedon karttumisen mukaan (Pahl et al. 2007, s. 155). Konseptin valinnan jälkeen on tarkoitus asettaa lopulliset vaatimukset, joiden mukaan yksityiskoh-

tainen suunnittelu voidaan toteuttaa. Otto & Wood (2001, s. 287) suosittelevat vaatimuslistan tarkistuttamista yrityksen eri tahoilla, esimerkiksi tuotannon ja markkinoinnin edustajilla.

Vaatimusmäärittelyä laadittaessa tulee samalla määritellä, miten vaatimukset voidaan verifioida (Ulrich & Eppinger, s. 74). Konsepteja tai kehitysprosessin lopputulosta voidaan arvioida esimerkiksi suorittamalla mittauksia tai simulointia. Verifiointitapa voidaan merkitä vaatimusmäärittelydokumenttiin vaatimuksen yhteyteen. Kun ensimmäinen vaatimusmäärittely on saatu valmiiksi, kannattaa arvioida, määrittelevätkö kirjatut vaatimukset sellaisen tuotteen, joka menestyisi markkinoilla (Ulrich & Eppinger 2008, s. 74)

3.3 Tehtävän pelkistäminen ja oleelliset toiminnot

Tuotekehitystehtävää selkeytetään vaatimuslistan laatimisen jälkeen abstrahoinnilla ja toimintorakennekaaviolla. Näillä pyritään löytämään ongelman ydin.

3.3.1 Abstrahointi

Teknisen ongelman ratkaisussa on tyypillistä suunnata ajatukset kohti tuttuja ratkaisuja. Tätä alitajuista puolustusreaktiota epätavallisia ideoita vastaan kutsutaan psykologiseksi inertiaksi. Kokemuksen ja ennakkokäsitysten ohjaama ajattelutapa voi olla hyödyllinen rutiinitehtävissä, mutta se haittaa uudenlaisten keksinnöllisten ratkaisujen syntymistä. Psykologisen inertian takia ihminen pyrkii tulkitsemaan uudetkin faktat siten, että ne tukevat vanhoja käsityksiä. (Rantanen 1997b.) On haastavaa olla välittämättä olemassa olevista ratkaisuista ja tuotteista, samalla pyrkien johonkin ideaaliseen lopputulokseen. Abstrahoinnilla pyritään helpottamaan uusien ratkaisujen ideointia. Siinä vaatimuslistaa pelkistetään ja yleistetään vaiheittain siten, että jäljelle jää fyysisestä ratkaisusta riippumaton, abstrakti ongelman ydin. (Pahl et al. 2007.)

Abstrahoinnissa on Pahl et al. (2007, s. 165) mukaan viisi vaihetta:

1. Eliminoi vaatimuslistalta henkilökohtaiset mieltymykset
2. Jätä pois vaatimukset, joilla ei ole merkitystä toiminnan ja tärkeimpien rajoitusten kannalta
3. Muuta kvantitatiiviset vaatimukset kvalitatiivisiksi ja jätä jäljelle vain välttämättömät
4. Yleistä edellisen kohdan asiat, jos mahdollista ja
5. Muotoile ongelma ratkaisun kannalta neutraalisti.

Tässä kuljetaan osittain päinvastaiseen suuntaan kuin vaatimusmäärittelyä tehtäessä. Esimerkiksi määrälliset vaatimukset muutetaan takaisin laadullisiksi. Kohdan 5 tuloksena muodostetusta ongelmasta saadaan suoraan johdettua laitteen päätoiminto, josta lähdetään rakentamaan toimintorakennekaaviota.

3.3.2 Toimintorakennekaavio

Toimintorakennekaavio (engl. *function structure*) kuvaa abstraktilla tasolla tuotteen toimintaa ja se voidaan laatia vaatimuslistan muodostamisen jälkeen. Siinä on tyypillisesti kuvattu tuotteen päätoiminto ja tämän suorat alitoiminnot sekä irralliset avustavat toiminnot. (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.) Esimerkiksi kahvinkeitin päätoiminto on kahvin keittäminen, alitoiminto tälle on kahvin suodattaminen ja avustava toiminto esimerkiksi automaattinen virrankatkaisu. Ilman alitoimintoa laite ei voi toimia, mutta avustavan toiminnon pois jättäminen ei estä päätehtävän suoritusta.

Tyypillisesti toimintorakennekaavioon piirretään lisäksi toimintojen välillä vaikuttavat kuvainnolliset energia- materiaali- ja signaalivuot, jotta nähdään, miten kohde muuttaa sisään tulevat vuot ulos tuleviksi (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008). Kaavioon tulee sisällyttää vain tarpeellisia ja täten tärkeitä toimintoja. Jos toiminto on turha systeemin toiminnan kannalta, on se syytä poistaa. (Pahl et al. 2007) Mitä monimutkaisempi suunniteltava järjestelmä oletettavasti tulee olemaan, sitä enemmän toimintorakenteen muodostamisesta on hyötyä. Toimintorakenteen perusteella suunnitteluongelma jaetaan pienempiin, helposti hallittaviin kokonaisuuksiin, mikä tukee esimerkiksi rinnakkaissuunnittelua. (Otto & Wood 2001; Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.) Tästä on toisaalta vähemmän hyötyä yksinkertaisten tuotteiden tapauksessa ja toisinaan riittää esimerkiksi vain alifunktioiden listaaminen, ilman vuoviivoja (Ulrich & Eppinger 2008). Yleisesti toimintorakenteen muodostaminen edistää konseptivaihtoehtojen löytämistä ja vähentää taipumusta suunnata huomiota ennestään tuttuihin ratkaisuihin. Konseptisuunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää keskittyä siihen, mitä tulevan järjestelmän pitää tehdä abstraktilla tasolla, ei miten se käytännössä tapahtuu. Toimintorakennekaavio kääntää huomion mitä-puoleen (Otto & Wood 2001.)

Peitelaitteen tapauksessa on kyseessä niin sanottu adaptiivinen suunnittelu (Pahl et al. s. 178), joten toimintorakennetta voidaan hahmotella olemassa olevien peitelaitteiden toimintojen perusteella. Lähtökohdaksi voidaan esimerkiksi ottaa, että omasta laitteesta löytyvät vähintään samat tarpeelliset toiminnot kuin kilpailijavertailun laitteista. Erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja voidaan hakea muuntelemalla toimintorakennekaaviota, esimerkiksi jakamalla tai yhdistelemällä toimintoja. Yksi fyysinen osa voi olla toteuttamassa useampaa toimintoa, mikä saattaa auttaa välttämään monimutkaista konstruktiota (Otto & Wood 2001; Pahl et al. 2007).

Systemaattisen menetelmän mukaan edeten toimintorakenteen muodostamisen jälkeen eri toiminnoille aletaan etsiä niin sanottuja toteuttimia (engl. *working principles* Pahl et al. 2007 mukaan), kullekin erikseen. Kun toiminnoille on kehitetty tai löydetty riittävästi toteutinvaihtoehtoja, asetetaan nämä taulukkoon havainnollisten kuvien tai lyhyiden kuvausten muodossa. Taulukkoa kutsutaan yleisesti myös morfologiseksi matriisiksi. Tavallisesti vaakariveille tulevat alitoiminnot ja pystyriveille näille vaihtoehtoisia toteuttimia. Eri toteuttimia yhdistellään kokonaisiksi konseptivaihtoehtoiksi, ottaen huomioon teknisen toteutettavuuden ja karkeat kustannukset. (Otto & Wood 2001; Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.)

Edellä mainittua muodollista konseptinyhdistelytaulukkoa ei tässä työssä laadita, sillä taulukko ei peitelaitteen tapauksessa tuo tarpeeksi lisäarvoa suunnittelulle, suureen työmäärään verrattuna. Se voi myös rajoittaa uudenlaisten ideoiden syntymistä. Peitelaitte on toiminnaltaan riittävän yksinkertainen, jotta sille voidaan muodostaa suoraan kokonaisia konseptiratkaisuja. Voidaan tietenkin pohtia myös osaratkaisuja, mutta niiden yhdistäminen kokonaisuuksiksi tapahtuu ajatuksen tasolla ja vapaalle ideoinnille jää näin enemmän aikaa.

3.4 Konseptien kehittäminen

Ulrich ja Eppinger (2008, s. 15) määrittelevät, että konsepti on tuotteen muodon ja ominaisuuksien kuvaus. Konsepti on siis tuote ilman tarkkoja yksityiskohtia ja fyysistä toteutusta. Konseptikehitykseen kannattaa panostaa paljon tuotekehitysosaston resursseja, sillä se on kustannuksiltaan halpaa, verrattuna esimerkiksi prototyypin rakentamiseen. Erilaisia vaihtoehtoja kehitellään mahdollisimman pitkään ja paljon, jotta todennäköisyys hyvän ratkaisun löytymiseen olisi maksimaalinen. On huono tilanne keksiä jokin loistava konsepti-idea tuotekehitysprojehtin loppupuolella, kun sitä ei ole enää aikaa jalostaa tuotteeksi. (Otto & Wood 2001; Ulrich & Eppinger 2008.)

Konseptikehitys on Ulrichin ja Eppingerin (2008) teoksessa jaettu viiteen vaiheeseen. Näistä ensimmäinen, ongelman selkeyttäminen, on käsitelty työssä aiemmin. Toisessa vaiheessa ratkaisuja etsitään tuotekehitysr ryhmän ulkopuolelta ja kolmannessa vaiheessa ryhmän sisällä. Neljännessä vaiheessa yhdistellään osaratkaisuja systemaattisesti ja viidennessä arvioidaan kriittisesti omaa tekemistä ja sen tuloksia. (Ulrich & Eppinger 2008.) Luvuissa 3.4 ja 3.5 keskitytään ideoiden löytämisen keinoihin.

3.4.1 Pohjatietoa ideoinnille

Konseptien muodostamisessa kannattaa käyttää olennainen olemassa oleva tieto mahdollisimman hyvin hyödyksi. Todennäköisesti oman tuotekehitystehtävän kohde muistuttaa joitakin jo keksittyjä ratkaisuja, joita voi luovasti soveltaa. Myös oman yrityksen vanhoja tuotteiden tietoa kannattaa käyttää hyväksi. Toteutustapoja voidaan etsiä ali-toimintoihin erikseen tai suoraan kokonaisia konseptivaihtoehtoja. (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.)

Yksi keino tiedon löytämiseen on niin sanottujen edelläkävijäkäyttäjien haastattelu, joka voi esimerkiksi auttaa löytämään uudenlaisia käyttötapoja vanhoille tuotteille. Voi olla myös hyödyllistä konsultoida asiantuntijoita, kuten yliopistojen henkilökuntaa tai potentiaalisia komponenttitoimittajia. (Ulrich & Eppinger 2008.) Internetin käyttäminen on toimiva keino löytää hyödyllistä tietoa, esimerkiksi kilpailijoiden markkinointimateriaalia. Lisäksi konseptikehityksessä hyödynnettävää tietoa voi löytää muun muassa kirjallisuudesta, lehdistä ja tieteellisistä julkaisuista. Työn alkupuolella suoritettu kilpailijoiden tuotteisiin tutustuminen ja parhaiden ratkaisujen poimiminen on myös tärkeä osa konseptikehitystä. (Pahl et al. 2007, Ulrich & Eppinger 2008.)

3.4.2 Ideointi

Konseptikehityksen ideointia tehdään tyypillisesti tuotekehitysryhmän kesken. Ryhmätyöskentely ei kuitenkaan ole välttämättä ainoa vaihtoehto. Esimerkiksi McGrathin (1984) mukaan yksilötyöskentelynä suoritettu ideointi on tehokkaampaa kuin vain ryhmässä tehtävä. Molempien menettelyjen hyvät puolet voidaan yhdistää esimerkiksi siten, että ensin tuotekehitysongelmaa pohditaan itsenäisesti, minkä jälkeen voidaan kokoontua yhteen keskustelemaan syntyneistä ideoista. Tällaisissa tilaisuuksissa saadaan hyödynnettyä koko ryhmän jäsenten tiedot ja luovuus, joiden avulla ideat jalostuvat ja kehittyvät eteenpäin. Toisinaan sovittu kokous voi olla ainoa keino irrottaa aikaa ideoinnille normaalien työrutiinien keskellä. (Ulrich & Eppinger 2008.)

Hyvät ideat syntyvät usein spontaanisti ja niiden lähteenä voi olla alitajuisesti muun muassa hankittu kokemus ja pohjatiedot meneillään olevasta tehtävästä. Pienikin impulssi voi sysätä idean alitajunnasta tietoiseen ajatteluun. (Pahl et al. 2007.) Esimerkiksi jonkin epäolennaiselta vaikuttava ärsyke, kuten satunnaisen kuvan tarkastelu, voi ohjata ajattelua oman ongelman ratkaisuidean löytämiseen. Systemaattisen menetelmän mukaan edettäessä ideoita on tärkeää etsiä mahdollisimman paljon, sillä vaatimattomankin tuntuiset ideat voivat olla lähteenä käyttökelpoisille uusille ajatuksille. Konseptien ideoinnin aikana on pidettävä kritiikki mahdollisimman vähäisenä, vaikka jotkin ajatukset vaikuttaisivatkin aluksi toteutuskelvottomilta. Näistä voi kuitenkin vähitellen jalostua toimivia konsepteja. Konseptien ideointia voi edistää määrällisten tavoitteiden asettaminen (Ulrich & Eppinger 2008.)

Yhtenä intuitiivisena konsepti-ideoinnin lähteenä ovat analogiat. Voidaan pohtia, onko omaa tehtävää vastaava ongelma ratkaistu jossakin toisessa mittakaavassa tai mitkä eri käyttöön tarkoitetut laitteet toteuttavat samankaltaista toimintoa kuin konseptikehityksen kohde. (Otto & Wood 2001 s. 411; Pahl et al. 2007 s. 78; Ulrich & Eppinger 2008 s. 109) Analogioiden etsimisessä voidaan käyttää apuna esimerkiksi internetin hakukonepalveluiden kuvahakuja.

Luonnon systeemien analysointi voi johtaa käyttökelpoisiin ja uudenlaisiin teknisiin ideoihin. Luonnosta on saatu idea esimerkiksi tarranauhaan, joihinkin komposiittirakenteisiin, kennorakenteisiin ja lentokoneisiin. (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.) Esimerkiksi peitelaitteen tapauksessa voitaisiin tutkia hyönteisten suojakuorien toimintaa tai kasvien lehtien rakennetta.

Tavallisia ryhmässä käytettäviä ideointimenetelmiä ovat esimerkiksi aivoriihi, galleria-metodi ja synektiikka. Aivoriihessä pyritään kehittämään tietty määrä ratkaisuja ilman ylimääräistä kritiikkiä ideoinnin aikana. (Pahl et al. 2007.) Galleria-metodia voidaan käyttää, kun ratkaisuehdotuksia on mahdollista kuvata jonkinlaisten piirrosten muodossa. Tehtyjä piirroksia asetetaan seinille ja näiden tarkastelun tuloksena ideoidaan lisää. Kummassakin edellä mainitussa ratkaisut arvioidaan jälkikäteen. (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.) Synektiikka tarkoittaa näennäisesti riippumattomien asioiden yhdistämistä. Siinä haetaan konsepti-ideoita tyypillisesti ei-teknisistä analogisista kohteista. (Pahl et al. 2007.)

Ideoiden etsimisessä voidaan käyttää apuna esimerkiksi hahmotelmapiirroksia, tai havainnollistavia malleja, kuten pahvi-, LEGO®- tai CAD-malleja. Näille malleille voidaan tehdä erilaisia mittauksia tai testauksia. Myös olemassa olevien systeemien mittaukset ja testaukset voivat synnyttää uusia ajatuksia. (Pahl et al. 2007; Ulrich & Eppinger 2008.) Ideoinnin kulun mallintamisessa käsitekartan laatiminen voi olla hyödyllistä (Otto & Wood 2001).

Edellä mainittujen intuitiivisten menetelmien lisäksi on mahdollista käyttää loogista ja järkevää ajattelua painottavia diskursiivisia menetelmiä. Intuitiivisten menetelmien avulla keksittäviä ideoita rajoittavat esimerkiksi opitut käytännöt ja ennakkoasenteet sekä puutteellinen tietämys viimeisimmistä teknologioista. Diskursiivisiin menetelmiin kuuluvat muun muassa fysiikan ilmiöiden tutkiminen, luokittelukaavioiden, kuten morfologisen matriisin laatiminen ja suunnittelukatalogien tutkiminen. Fysiikan ilmiöitä ovat esimerkiksi noste, kitka ja valosähköinen ilmiö. Suunnittelukatalogeista on mahdollista etsiä ratkaisua tiettyihin sovelluksiin, esimerkiksi voimansiirron toteutukseen tai vipumekanismin valintaan. (Pahl et al. 2007.)

Ideointia voidaan alkaa tehdä suoraan alustavien vaatimusten selvittämisen jälkeen. Jos on oletettavaa, että omasta kehityskohteesta on jo olemassa paljon versioita ja vaihtoehtoisia toteutuksia, voidaan ennen ideointia tehdä alustava patenttiselvitys.

3.4.3 Patenttiselvitys

Patentti on tuotesuoja, joka oikeuttaa keksinnön ammattimaiseen hyväksikäyttöön sen valtion alueella, joka patentin on myöntänyt. Patentoitavaksi kelpaavat keksinnöt, jotka ovat merkittävästi uudenlaisia. Patentti on voimassa enintään 20 vuotta hakemispäivästä, mikäli vuosimaksut suoritetaan asianmukaisesti. On huomattava, että patenttihakemus ei vielä ole patentti, eikä siitä välttämättä sellaista tulekaan. Vanhentuneita ja ei voimassa olevia patenteja voi siis vapaasti hyödyntää. Lievempi tuotesuoja on hyödyllisyysmalli, jossa keksinnön uutuutta ja keksinnöllisyyttä ei tutkita, mutta suojan voimassaoloaika on korkeintaan 10 vuotta ja sen kumoaminen on helppoa. (Koivukunnas 2012; Patenttiopas 2003)

Patenttijulkaisuja tutkittaessa kannattaa dokumentoida tärkeimmät löydökset riittävän tarkasti, jotta niihin voidaan palata myöhemmin. Patenttijulkaisu on muotoiltu määrättyllä tavalla, ja tärkeimpiä osia ovat selitysosä sekä vaatimukset. Selitysosassa kerrotaan muun muassa tekniikan tasosta, keksinnön yksityiskohdista ja käyttötarkoituksesta sekä määritellään ongelma, jonka keksintö ratkaisee. Selitysosassa ovat lisäksi kuvat selityksineen sekä perustelut, miksi keksintö on tunnettua tekniikkaa parempi. Vaatimukset jakaantuvat itsenäisiin ja epäitsenäisiin, ja niistä selviää, mille ratkaisuille ja piirteille patenttia on haettu. Itsenäisen vaatimuksen loukkaaminen tapahtuu silloin, kun kaikki sen piirteet löytyvät vertailtavasta tuotteesta. Toisin sanoen loukkausta ei tapahdu, jos yksikin kuvailtu piirre puuttuu. Epäitsenäistä vaatimusta ei voi loukata erikseen, vaan ainoastaan yhdessä itsenäisen vaatimuksen kanssa. Molempia vaatimustyyppejä voi olla useita ja ne yhdessä määrittelevät patentin suojapiirin. (Koivukunnas 2012; Patenttiopas 2003)

Suunnittelutyön alkuvaiheeseen ajoittuva alustava patenttiselvitys tehdään tavallisesti tekniikan tason kartoittamiseksi ja ideoinnin tukemiseksi. Tavoitteena on, että voimassa olevia patenteja ei loukata ja jo keksittyjä asioita ei keksitä uudelleen. Käytettävistä olevista keksinnöistä voidaan poimia osaratkaisuja, joita yhdistelemällä voidaan kehittää uudenlaisia omia ratkaisuja. Patenttiselvitystä voidaan tehdä uudelleen, kun arvioidaan omia konseptivaihtoehtoja, mikäli mahdollisuuksia jonkinlaiselle tuotesuojalle arvioidaan olevan. Internetin avulla kuka tahansa voi etsiä patenttitietoa ilmaisista tietokannoista tai hakupalveluista. Esimerkiksi maailmanlaajuinen Euroopan patenttitoimiston Espacenet patenttitietokanta (Espacenet 2014) ja Google Patents -hakukonepalvelu ovat mahdollisia lähteitä. Ilmaiseksi saatavilla olevat patenttijulkaisut riittävät ideoinnin, ideoiden arvioinnin ja jalostamisen tukemiseen, mutta esimerkiksi liiketoimintaan ja investointeihin vaikuttavat tärkeät patenttihaut on suositeltavaa jättää patenttialan ammattilaisten tehtäväksi. (Koivukunnas 2012).

Käytettäessä maailmanlaajuisia hakua (tunnus WO), on hakusanat syötettävä englanniksi. Esimerkiksi Espacenet-palvelussa hakeminen kannattaa aloittaa Hakusanat nimityksessä tai tiivistelmässä -toiminnolla. Jos valitaan suppeampi tietokanta, esimerkiksi eurooppalaiset patentit (tunnus EP), voidaan valita hakuvaihtoehto, joka hakee sanoja koko tekstistä. Voidaan hakea myös maakohtaisesti, esimerkiksi suomalaisia patenteja (tunnus FI). Kun ensimmäisten hakujen perusteella löydetään joitakin merkityksellisiä julkaisuja, voidaan näistä katsoa patenttiluokka ja tehdä tämän perusteella uusia hakuja. Patenttijulkaisuja pyritään usein peittelemään ja nimeämään hämäävästi, mutta patenttiluokan käyttäminen auttaa löytämään myös epämääräisesti nimettyjä julkaisuja. (Koivukunnas 2012.)

Espacenet-palvelussa kussakin patenttijulkaisussa ovat nähtävillä viitejulkaisut, joita seuraamalla voi löytää uusia tärkeitä julkaisuja. Listattuna ovat julkaisut, joihin tarkasteltavassa julkaisussa viitataan määriteltäessä tekniikan tasoa sekä julkaisut, jotka siteeraavat tarkasteltavaa julkaisua. Espacenet-palvelusta nähdään myös patenttijulkaisuun liittyvä patenttiperhe, eli saman keksinnön julkaisut eri maissa. Toisinaan hakupalvelussa on nähtävillä patenttijulkaisun oikeudellinen asema (engl. *legal status*), eli onko esimerkiksi patentti myönnetty tai ovatko maksut myöhästyneet. Toisinaan Espacenet ei tarjoa tätä tietoa lainkaan, vaan tieto pitää hakea esimerkiksi kansallisesta patenttivirastosta. (Koivukunnas 2012)

Seuraavassa luvussa käsitellään TRIZ-nimistä ongelmanratkaisumenetelmää, joka on syntynyt laajan patenttitutkimustyön tuloksena. TRIZiä voidaan käyttää ideointiin jo ennen patenttiselvitystä tai vaihtoehtoisesti patenttiselvityksellä voidaan ensin selvittää tekniikan taso.

3.5 TRIZ

TRIZ on luova ongelmanratkaisumenetelmä, jonka perusti neuvostoliittolainen Genrich S. Altshuller. TRIZ on lyhenne venäjänkielisistä sanoista *teoriya resheniya izobretatel'skikh zadatch*. Menetelmän kehitys alkoi 1940-luvulla, toisen maailmansodan lopulla,

kun Altshuller teki patenttitutkimusta. Hän huomasi, että hyvillä teknisillä keksinnöillä ja niiden kehityksellä on yhteisiä piirteitä. Ongelmanratkaisija voi soveltaa näitä piirteitä omaan kehitysongelmaansa systemaattisesti. (Rantanen & Domb 2008.) Tässä työssä tarkastellaan TRIZin pelkistettyä versiota (Rantanen 2002; Rantanen & Domb 2008). **TRIZin keskeisimmät käsitteet** Rantasen (2002, (s.12)) mukaan ovat ristiriita, resursit, ideaaliratkaisu, kehityslait sekä innovatiiviset periaatteet. Näiden systemaattinen noudattaminen tukee ajattelua ongelmanratkaisutilanteissa, mutta peruskäsitteitä voi soveltaa myös epämuodollisesti ja alitajuisesti (emt.). TRIZ-ajatus tapaa voi hyödyntää kaikessa ongelmanratkaisussa, ei pelkästään teknisessä.

TRIZ on systemaattisen ja intuitiivisen menetelmän välimuoto. Altshullerin mukaan hyvä ratkaisu on yleisesti sellainen, joka poistaa ristiriidan vastakkaisten vaatimusten väliltä ja hyödyntää aiemmin huomaamattomia resursseja. Hyvä ratkaisu on mahdollisimman lähellä ideaalista ratkaisua (Rantanen 2002, s. 11). Yksi perinteinen kehityksen lähestymistapa on optimointi, jossa haittoja pyritään minimoimaan, mutta ei poistamaan kokonaan. Näin ollen optimointi-ajattelutapa voi haitata TRIZ-tyyppistä ajattelua (Hipple 2012).

TRIZ auttaa välttämään psykologista inertiaa. Jokapäiväisessä elämässä ihminen törmää jatkuvasti kompromissiratkaisuihin, mikä tukee urautunutta ajattelutapaa. (Rantanen 1997b.) Esimerkiksi älypuhelinien näytön koko on vielä vuonna 2015 kompromissi kuljetettavuuden ja helpon käytettävyyden väliltä. Tavallisten autojen moottoriteho on kompromissi muun muassa suorituskyvyn ja polttoaineenkulutuksen väliltä. Psykologista inertiaa ruokkii myös puhuttu kieli, sillä sanoilla on yleensä tietty merkitys (Rantanen 1997b). Esimerkiksi polkupyörän ajatellaan tarkoittavan tietynlaista laitetta, joten on vaikea muuttaa mielikuvaa, jossa pyörillä varustettua laitetta polkemalla päästään paikasta toiseen.

TRIZ auttaa paitsi ongelmien tunnistamisessa, mutta se tarjoaa niihin myös valmiita periaatetason ratkaisuvaihtoehtoja. Jotta voidaan löytää yleisen tason ratkaisu, on käsiteltävä ongelma saatettava pelkistettyyn muotoon. (Gadd 2011.) Ongelma voidaan pelkistää muun muassa tässä työssä aiemmin esitetyn abstrahoinnin avulla. TRIZ tarjoaa yhden tai useamman periaateratkaisun ongelmaan, minkä jälkeen ratkaisut voidaan kehittää sopiviksi todelliseen käytännön tilanteeseen ja ongelmaan. Tämä poikkeaa niin sanotuista perinteisistä menetelmistä, kuten aivoriihestä ja morfologisesta matriisista, joiden avulla etsitään suoraan tiettyä käytännön ratkaisua tiettyyn käytännön ongelmaan. Kummallakin tavalla toimien on kuitenkin lopulta kehitettävä konkreettinen tuote. (Gadd 2011; Ilevbare 2013.)

Sekä Ulrich ja Eppinger (2008) että Otto ja Wood (2001) suosittelevat TRIZiä konsepti-ideoiden etsimiseen. Ilevbare et al. (2013) puolestaan ovat selvittäneet TRIZiin perehtyneille henkilöille tehdyllä kyselytutkimuksella menetelmästä saatavia hyötyjä. Vastaajien mukaan TRIZ tarjoaa jäsennetyn ongelmanratkaisumenetelmän, joka auttaa tunnistamaan ongelmat ja tarjoaa hyviä vihjeitä ratkaisuun. Lisäksi TRIZin koetaan auttavan löytämään hyödyllisiä, ja uudenlaisia ratkaisuja nopeasti. Vastaajista 24 % oli TRIZiin erittäin tyytyväisiä ja 62 % tyytyväisiä. (Ilevbare et al. 2013.)

3.5.1 TRIZin peruskäsitteet ja käyttö

Kun kehityskohde ja ongelma ovat selvillä, aletaan etsiä ongelmien taustalla vaikuttavia ristiriitoja. Kun merkittävä ristiriita on saatu selville, kartoitetaan käytettävissä olevia resursseja, joilla ristiriidan voisi poistaa. Kehitystyössä tulisi pyrkiä systemaattisesti kohti ideaaliratkaisua. Kun jokin ratkaisu on löytynyt, tätä arvioidaan kriittisesti. Tämänkaltaista ratkaisutekniikkaa toistetaan, kunnes saadaan aikaiseksi riittävän hyvä tulos. TRIZin kaavaa ei tarvitse noudattaa orjallisesti, vaan sitä voi tarpeen mukaan soveltaa. (Rantanen 2002, s. 116.)

Ristiriitojen etsiminen alkaa kartoittamalla ongelman kohteen keskeisimmät instrumentit ja kohteet. Näistä valitaan kerrallaan yksi systeemin muodostava pari, jolle listataan ominaisuuksia. Näiden joukosta pyritään löytämään ristiriitaisia ominaisuuksia, esimerkiksi jonkin hyödyllisen ominaisuuden kasvaessa haitallinenkin kasvaa. Listatuista ristiriidoista valitaan tärkeimmät, joita aletaan työstää eteenpäin. (Rantanen 2002, s. 50.) Rantanen (2002, s. 58) esittää, että ristiriitaa kannattaa etsiä instrumentin tai kohteen sisältä. Esimerkkinä ristiriitaisesta systeemistä on puun halkaisu, jossa kirves voi olla instrumentti ja puu kohde. Eräs kirveeseen liittyvä ristiriita liittyy halkaisutehoon. Kun kirvestä suurennetaan, halkaisuteho paranee, mutta samalla myös kirveen käsittely tulee raskaammaksi. (Rantanen & Domb 2008, s. 12.) Ristiriita tulisi esittää kärjistetyksi, jotta päästään irti tavanomaisten ratkaisujen pohtimisesta (emt., s. 54). Esimerkiksi kärjistetyssä kirveen koon ristiriidassa kirvestä ei ole ollenkaan, mutta halkaisu onnistuu täydellisesti.

Ristiriita voi olla joko tekninen tai fysikaalinen. **Tekninen ristiriita** liittyy yleensä koko systeemiin tai useisiin systeemin osiin ja fysikaalinen aina vain yhteen systeemin osaan. Jokaisessa teknisessä ristiriidassa on perustana fysikaalinen ristiriita, joskin tämä voi olla vaikeaa huomata. (Altshuller 1996, s. 21–22.) Teknisessä ristiriidassa on konflikti kahden eri muuttujan välillä, ja **fysikaalisessa ristiriidassa** jollakin muuttujalla tulisi olla kaksi eri arvoa samassa paikassa, samaan aikaan, mikä on mahdotonta todellisuudessa. (Rantanen 1997a.)

Esimerkkinä teknisestä ristiriidasta on auton moottoriteho. Kun tehoa kasvatetaan moottorin kokoa suurentamalla, huippunopeus kasvaa, mutta suurentunut massa puolestaan laskee huippunopeutta. Fysikaalinen ristiriita löytyy esimerkiksi sateenvarjon koosta. Suuri sateenvarjo suojaa hyvin, mutta on hankala kuljettaa. Varjon tulee siis ideaalisesti olla sekä pieni että suuri. (Ilevbare et al. 2013.) Rantasen (1997a) mukaan yksi keino fysikaalisten ristiriitojen ratkaisuun on ominaisuuksien erottaminen. Polkupyörän ketju on esimerkki jakamisesta tilassa. Ketjun avulla saatiin erotettua polkemisnopeus ja pyörän pyörimisnopeus toisistaan. Taitettava polkupyörä on esimerkki jakamisesta ajassa. Kun ajetaan, kulkuneuvon mitat ovat suuret, mutta kuljetuksen aikana pienet. (emt.)

TRIZissä ristiriitojen ratkaisemiseen pyritään käyttämään systeemin sisällä ja sen ympäristössä olevia **resursseja**. Systeemin sisällä resursseja voi löytyä instrumentin ja kohteen makrotason lisäksi myös mikrotasolta, esimerkiksi materiaaliominaisuuksista. Tavoitteena on olla lisäämättä systeemiin mitään tai lisätä mahdollisimman vähän ja

pienin kustannuksin. Jo pelkkä resurssien listaaminen muusta TRIZistä irrallisena toimenpiteenä voi synnyttää hyödyllisiä ideoita. (Rantanen & Domb 2008, s. 59–64.)

Resursseja systeemin eri tasoilla ja ympäristössä ovat esimerkiksi:

- aine ja materiaali sekä niiden muutokset, esimerkiksi sekoittaminen
- vapaana oleva tila, tilan käyttäminen uudella tavalla, esimerkiksi ontot rakenteet
- ilma, esimerkiksi paineilma, vesi, valo, esimerkiksi aurinko tai lamppu, sähkö
- vuorovaikutukset, esimerkiksi kitka ja painovoima, energia, esimerkiksi potentiaali-, liike- ja lämpöenergia
- fysikaaliset ja kemialliset ilmiöt
- muotoilu, esimerkiksi lujuuden parantaminen muotoilemalla järkevämmin
- aika, esimerkiksi jonkin asian muuttuminen ajan kuluessa.

Muita resursseja ovat lisäksi muun muassa:

- olemassa olevat käytettävissä olevat ratkaisut
- ihmisten taidot ja piilevät kyvyt
- haitalliset ominaisuudet ja vuorovaikutukset, esimerkiksi hukkalämpö
- tekemättä jättäminen, esimerkiksi turhien vaiheiden karsiminen tuotannosta.

(Rantanen 2002, s. 28; Rantanen & Domb 2008, s. 64; Hipple 2012, s. 36.) Osa mainituista resursseista on niin arkipäiväisiä, että niitä on vaikea huomata ilman systemaattista listaamista. Tapauksesta riippuen jokin asia voi olla instrumentti yhdessä tilanteessa, kohde toisessa ja osa ympäristöä kolmannessa. (Rantanen & Domb 2008, s. 66–67.)

Yksi esimerkki resurssien tehokkaasta hyödyntämisestä liittyy koneistuskeskuksen sisällä olevaan robottiin. Kun robotti käännettiin ylösalaisin, lastut eivät enää pudonneet robotin päälle painovoiman vaikutuksesta. Tässä myös tilaa on käytetty uudella tavalla kääntämällä robotti. (Hipple 2012, s. 36.)

TRIZin tavoitteena on kasvattaa kehityskohteen ideaalisuutta. Ideaalisuuden aste kuvaa sitä, kuinka lähellä systeemi on parasta mahdollista tasoaan. **Ideaaliratkaisussa** hyötyjä on maksimaalinen määrä, mutta kustannuksia ja haittoja ei ole. (Ilevabre et al. 2013.) Rantanen (2002, s. 44) sanoo, että ”tekninen systeemi on huono pelkästään siksi, että se on olemassa.” Ideaalisesti halutut tehtävät tulisivat siis suoritetuiksi ilman teknistä systeemiä. Kun arvioidaan kehitystyön tuloksia, voidaan pohtia onko ideaalisuus kasvanut vai vähentynyt (Rantanen 2002, s. 30). Ideaalisuus kasvaa, kun hyödyt suhteessa kustannuksiin kasvavat tai esimerkiksi haitta muuttuu hyödyksi. Kehitystä ideaalisempaan suuntaan voi olla esimerkiksi tuotteiden yksinkertaistuminen tai energiankulutuksen tai prosessivaiheiden väheneminen. (Rantanen 2002.) Toisaalta myös asioiden yhdistäminen ja näennäinen monimutkaistuminen voi johtaa ideaalisempaan lopputulokseen. Esimerkiksi tulostimen, kopiokoneen ja skannerin yhdistelmä korvaa kolme erillistä laitetta, missä voidaan katsoa hyötyjen kasvavan kustannuksia enemmän. (Hipple 2012, s. 62.) Teoreettisesti muotoiltu ideaaliratkaisu on yleensä edellä todellista kehitystasoa, joten se kuvaa tekniikan tulevaisuutta. (Rantanen 2002, s. 65.)

3.5.2 TRIZin apuvälineitä ratkaisun etsimiseen

TRIZ tarjoaa peruskäsitteiden lisäksi joukon muita työkaluja, joista tässä esitellään 40 luovaa periaatetta sekä teknisten systeemien kehityslakeja. Ilevbare et al. (2013) tekemästä kyselytutkimuksesta selvisi, mitä TRIZ-työkaluja käytetään useimmin. Eniten sovellettujen voidaan päätellä olevan joko helposti käytettäviä tai hyödyllisiksi koettuja. Kyselyn mukaan kaikki vastaajat olivat hyödyntäneet niin sanottua 40:tä luovaa periaatetta useasti. (Ilevbare et al. 2013.) Ilevbare et al. (2013) selvityksen perusteella näyttää järkevältä pyrkiä käyttämään niitä tässäkin työssä.

Kun peruskäsitteiden avulla on päästy jonkinlaiseen yleisen tason ratkaisuun, voidaan **40 luovaa periaatetta** käyttää apuna spesifin ratkaisun kehittämisessä. Periaatteet esimerkkeineen löytyvät liitteestä 2. (Hipple 2012 s. 73–103; Rantanen & Domb 2008; Oxford Creativity.) 40 luovaa periaatetta esittävät kootusti, mitä toistuvia piirteitä hyvät ratkaisut yleensä sisältävät. Periaatteiden joukosta voi löytää suoraan omaan kehityskohteeseen sopivan ratkaisun. (Rantanen 2002, s. 104.)

Systeemien kehitys noudattaa tiettyjä lainalaisuuksia, jotka on saatu selville tutkimalla suuri määrä keksintöjä. **Kehityslait** antavat käsityksen siitä, miten systeemit yleensä kehittyvät. Tämän avulla voidaan esimerkiksi ennakoida markkinoilla olevien laitteiden seuraavaa kehitysvaihetta tai oman tuotteen ongelmia ja seuraavaa parempaa versiota. (Rantanen & Domb 2008, s. 103; Rantanen 1997c.)

Rantanen ja Domb (2008) esittelevät teoksessaan viisi mielestään keskeisintä kehityslakia. **Ensimmäinen** on kehityksen epätasaisuus, jonka mukaan aina ratkaisua seuraa ristiriita tai huono puoli, jota seuraa uusi parempi ratkaisu. **Toisena** lakina on integroituminen ylemmän tason systeemiin. Esimerkiksi kerrostaloasunnoissa on siirrytty huoneistokohtaisesta lämmityksestä ensin keskuslämmitykseen ja edelleen kaukolämmön käyttöön. Toisena esimerkkinä on kellojen integroiminen moniin eri laitteisiin, kuten matkapuhelimiin ja radioihin. **Kolmantena** lakina on siirtyminen mikrotasolle tai systeemin jakaminen pienempiin osiin. Esimerkiksi vesileikkurissa käytetään pienhiukkasia yhdessä vesimolekyylien kanssa materiaalin leikkaamiseen. Toisen esimerkin mukaan denim-kankaiden kivipesua on pystytty parantamaan korvaamalla kivet entsyymeillä. (Rantanen & Domb 2008, s. 103–112.)

Neljäntenä kehityslakina on vuorovaikutusten kasvun laki, jonka mukaan systeemiä voidaan parantaa muun muassa lisäämällä jotakin vuorovaikuttavia komponentteja nykyiseen systeemiin tai muuttamalla vuorovaikutuksia. Esimerkiksi kellojen kehityksessä on siirrytty auringon valoon perustuvista kelloista ensin tiimalaseihin ja vesikäyttöisiin kelloihin. Seuraavaksi kehitettiin heilurikellot, jotka perustuvat gravitaatioon. Suurikokoiset heilurikellot korvattiin kompaktimmilla, jousivoimalla toimivilla kelloilla ja nämä edelleen kvartsikiteen värähtelyyn perustuvilla. **Viides** laki kuvaa systeemin laajenemisen ja supistumisen kierrettä, jonka mukaan systeemi laajenemista seuraa osien tai toimintojen karsiminen tai yhdistely. Esimerkkinä tästä on polkupyörän vanteen kehitys, jossa tavallinen pinnavanne korvattiin harvapinnaisella vanteella tai umpinainen kiekovanteella. (Rantanen & Domb 2008, s. 112–115.) Systeemi voi laajentua muun muas-

sa erillisiä ominaisuuksia, laitteita tai prosesseja yhdistämällä. Esimerkiksi polkupyörä on lähtökohtaisesti systeemi, joka yhdistää kävelemisen ja ratsastamisen. Nykyään siinä kuitenkin yhdistyvät monet muutkin ominaisuudet ja tekniikat, kuten ketjuvälitys, elektroniikka ja ilmakumipyörät. (Rantanen 1997c.)

3.6 Konseptien valinta

Konseptivaihtoehtoja kertyy parhaassa tapauksessa paljon, mutta kaikki eivät ole yhtä toteuttamiskelpoisia käytännössä. Optimaalinen ratkaisu täyttää kaikki vaatimuslistan vaatimukset ja suuren osan toiveista, olettaen, että vaatimuslista on asiakastarpeita vastaava. Lisäksi optimaalinen ratkaisu on järkevästi toteutettavissa, ottaen huomioon esimerkiksi tavoitekustannukset, aikataulun ja tuotantomahdollisuudet. Käyttökelpoisten ratkaisujen löytämiseksi voidaan käyttää valintamenettelyä, jonka Pahl et al. (2007) jakavat kahteen vaiheeseen: eliminointiin ja paremmuuden arviointiin. Ensimmäisessä vaiheessa karsitaan selkeästi kelvottomat vaihtoehdot, esimerkiksi teknisesti liian haastavaksi arvioidut tai kustannuksiltaan sopimattoman suuret. Toisessa vaiheessa jäljelle jääneet vaihtoehdot järjestetään paremmuusjärjestykseen päätettyjen arviointikriteerien mukaan, ja näin saadaan selville parhaat ratkaisut. (Pahl et al. 2007.)

Ulrich ja Eppinger (2008, s. 124) luettelevat konseptin valintaan käytettyjä yleisimpiä menetelmiä. Yksi vaihtoehto on käyttää yrityksen ulkopuolista valitsijaa, esimerkiksi asiakasta. Toisinaan valinnan tekee joku tuotekehitysryhmän johtava jäsen, jolla on laaja kokemus ja asiantuntemus. Joskus konseptin valinta perustuu puhtaasti intuitioon, eli valitaan se vaihtoehto joka tuntuu oikealta. Tuotekehitysryhmän jäsenet voivat myös äänestää mielestään parasta konseptia. Edellä mainituissa valintatavoissa on riskinä esimerkiksi objektiivisuuden puute. Hieman järjestelmällisempi ja oletettavasti objektiivisempi valintatapa on listata vaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet ja muodostaa mielpide ryhmän kesken näiden perusteella. Joskus valinta voidaan tehdä rakennettujen prototyyppien testitulosten perusteella, mutta pelkästään testaamalla ei todennäköisesti voida esimerkiksi verifioida kaikkia vaatimuksia. (emt.)

Varmin tapa objektiiviseen konseptinvalintaan myös Ulrichin ja Eppingerin (2008) mukaan on valintataulukko, jossa vaihtoehtoja arvioidaan ennalta sovittujen kriteerien mukaisesti. Kriteereille voidaan käyttää niiden tärkeyttä kuvaavia painokertoimia. Mikäli konseptivaihtoehtoja on todella paljon, taulukon muodostaminen voi olla liian työlästä (emt.) Yleensä järjestelmällinen valintaprosessi auttaa ottamaan paremmin huomioon asiakasvaatimukset, yrityksen mahdollisuudet, olemassa olevat tuotteet ja kilpailijat. Järjestelmällinen valinta helpottaa tuotekehityksen osapuolten kommunikointia, sillä valinnan perusteet ovat kaikkien nähtävissä. (Ulrich & Eppinger 2008, s. 128)

Pääsääntöisesti tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa tulee käyttää luovuutta mahdollisimman paljon, mutta konseptin valinnassa ratkaisumahdollisuuksia on rajattava systemaattisesti ja järkiperusteisesti. Konseptin valinta on konvergoituva prosessi, jossa ei kuitenkaan välttämättä suoraviivaisesti löydy yhtä selkeästi parasta ratkaisua. Yleensä tarvitaan iteraatiokierroksia ja jatkokehittelyä. (Ulrich & Eppinger 2008.)

3.6.1 Ensimmäinen karsinta

Jotta ideoinnin tuloksena syntyneitä konsepteja voitaisiin vertailla keskenään, on niiden oltava vähintään karkeasti samalla tasolla. Jos lupaavalta vaikuttava konsepti kaipaavat jatkoselvitystä, se tehdään ennen valintamenettelyyn siirtymistä. Ideoinnissa on saattanut syntyä irrallisia osaratkaisuja eri toiminnoille, jolloin näiden mahdollisia yhdistelmiä voidaan tutkia erikseen. Voidaan myös tutkia erilaisia toimilaittevaihtoehtoja tai jalostaa rakennemuotoilua. Konseptien kehittelyyn ja tutkimukseen tulee varata runsaasti aikaa, sillä vaihe vaatii tyypillisesti paljon työtä. Apuna konseptien kehittelyssä voivat olla muun muassa alustavat CAD-mallit, simulointimallit, testaus, patenttijulkaisut sekä komponenttinvaihtoehtojen vertailu. (Pahl et al. 2007, s. 190.)

Mikäli konseptivaihtoehtoja on paljon, on rajattava pois huonoiten kelpaavat aikaisessa vaiheessa (Pahl et al. 2007, s. 107). Systemaattisen valintamenetelmän käyttäminen auttaa tekemään valinnan objektiivisesti (Pahl et al. 2007, s. 568). Konseptivaihtoehtojen karsintaan Pahl et al. (2007, s. 107) ehdottavat taulukkomuotoista valintaa, jossa kriteereinä ovat:

- A Sopii kokonaistehtävän toteuttamiseen
- B Täyttää vaatimuslistan vaatimukset
- C Toteutettavissa oleva suorituskyvyn, layoutin yms. suhteen
- D Asettuu tavoitekustannusten puitteisiin
- E Turvallinen ja ergonomisesti hyvä sekä
- F Yritys pitää parempana.

Heikot ratkaisut karsitaan neljän ensimmäisen perusteella tässä järjestyksessä. A ja B kriteereihin riittää tavallisesti vastaukseksi kyllä tai ei. Jos A ja B kriteerit täyttyvät, siirrytään kohtiin C ja D, joihin yleensä liittyy määrällistä arviointia. Määrällisten vaatimusten alittaminen on tietysti selkeä hylkäysperuste, mutta myös esimerkiksi liian hyvä suorituskky suhteessa minimivaatimukseen on syy karsia konseptivaihtoehto pois. Jos konseptivaihtoehto täyttää kriteerit A–D, arvioidaan ratkaisun jatkoonpääsyä kahden viimeisen kriteerin perusteella. Kohdassa E arvioidaan konseptin turvallisuutta ja ergonomiaa. Viimeisessä kohdassa F otetaan huomioon yrityksen mieltymykset ja esimerkiksi olemassa olevan tiedon, taidon sekä tuttujen materiaalien ja tekniikoiden hyödyntäminen. Jatkon valitaan periaatteessa vain ne ratkaisut, jotka täyttävät kaikki kriteerit. Jos kuitenkin epäillään, että lisäselvityksellä saadaan jokin kriittinen epäkohta poistettua, voidaan muuten hylättävä vaihtoehto valita jatkokehitykseen. (Pahl et al. 2007, s. 107.)

Eräs vaihtoehtoinen tapa konseptin arviointiin on niin sanottu Pugh-valintataulukko. Siinä konseptivaihtoehtoja verrataan valittuun perustasaan, jota voi edustaa esimerkiksi oma nykyinen tai jokin kilpaileva tuote. Vertailukriteereiksi voidaan valita tärkeimpiä kohtia vaatimuslistalta tai muita keskeisiä kriteerejä. Kriteereille voidaan käyttää painokertoimia, jos niille löytyy selkeitä perusteita. Kunkin vaihtoehdon kohdalla arvioidaan kriteerikohtaisesti, onko se samalla (0), huonommalla (-1) vai paremmalla (+1) tasolla kuin perustason tuote. Lopuksi pisteet lasketaan yhteen ja valitaan paras vaihtoehto.

(Pugh 1990.) Ulrich ja Eppinger (2008, s. 130) suosittelevat karkeaan konseptivalintaan Pugh-taulukkoa. Tämänkaltaista valintamenetelmää voidaan käyttää tuotekehityksen muissakin vaiheissa päätöksiä tehtäessä, esimerkiksi komponenttien tai tuotantomenetelmien valinnassa (Ulrich & Eppinger 2008, s. 124) Kun valinnan tulokset ovat selvillä, niitä tulee tarkastella kriittisesti. Esimerkiksi jos konseptivaihtoehdolla on vain yksi erityisen huono piirre, voitaisiinko tätä kompensoida jollakin tavalla tai yhdistää kahdesta heikosta ratkaisusta yksi hyvä? (Ulrich & Eppinger 2008, s. 131).

3.6.2 Parhaan konseptivaihtoehdon valinta

Kun ensimmäinen karkea valinta on tehty, jäljellä on muutamia parhaita konseptivaihtoehtoja. Näitä kehitetään jälleen eteenpäin, kunnes on riittävästi tietoa lopullista valintaa varten. Valinnassa voidaan käyttää esimerkiksi edellä mainittua painotettua Pugh-mallista valintataulukkoa. Kriteerejä voidaan tarkentaa edellisestä karsintavaiheesta, koska konseptivaihtoehtoja on oletettavasti kehitetty pidemmälle. Usein käytetään vaatimuslistalta johdettuja kriteerejä, joiden tulisi olla toisistaan riippumattomia ja neutraalisti ilmaistuja sekä mahdollisimman objektiivisia. (Pahl et al. 2007, s. 109–110; Ulrich & Eppinger 2008, s. 134.)

Pahl et al. (2007, s. 114) ehdottavat valintataulukkoa, jossa ensimmäiseen sarakkeeseen tulevat arviointikriteerit ja toiseen näitä vastaavat parametrit, esimerkiksi kevyt konstruktio ja tälle parametrina teho per massa. Tämän menetelmän käyttäminen edellyttää lukumääräistä tietoa konseptivaihtoehdoista. Kullekin parametrille on tehtävä pisteytys, esimerkiksi 0–4 tai 0–10. Mitä tarkempia arvoja eri ominaisuuksille on tiedossa, sitä tarkempaa asteikkoa voidaan käyttää. (Pahl et al. 2007, s. 115.) Pahl et al. (2007) mukaan konseptivaiheen arviointikriteerien määräksi riittää yleensä noin 15–30. Tämä on paljon yksinkertaiselle tuotteelle, mutta toisaalta erot tulevat sitä paremmin esiin, mitä suurempi kriteerien määrä on. Kun pisteet lasketaan yhteen, voidaan suoraan hylätä alle 60 % maksimipisteistä saaneet ja päästää jatkoon yli 80 % keränneet, jos näillä ei ole erityisen huonoja yksittäisiä ominaisuuksia (Pahl et al. 2007, s. 197). Tässä työssä pyritään lopussa valitsemaan vain paras konseptivaihtoehto.

Myös Ulrich ja Eppinger (2008, s. 134–135) esittävät käytettäväksi painokertoimilla varustettua valintataulukkoa, jossa pisteskaala on viisiportainen. 3 tarkoittaa keskitasoa, 1 on tätä paljon huonompi ja 5 paljon parempi. Vertailuun on mahdollista ottaa mukaan esimerkiksi kilpailijoiden tuotteita, jolloin voidaan todeta omien vaihtoehtojen kilpailukyky. (emt.) Pisteiden yhteenlaskun jälkeen voidaan vielä tarkastella, kuinka herkästi esimerkiksi painokertoimien ja pisteytyksien muuttaminen vaikuttaa lopputulokseen (Ulrich & Eppinger 2008, s. 136).

4 KONSEPTIEN PERUSTA

Tässä luvussa kerrotaan, miltä perustalta työssä myöhemmin esiteltävät konseptit on muodostettu. Aluksi määritellään peitelaitteen suunnitteluvaatimukset lähtien asiakasvaatimuksista ja kilpailutilanteen asettamista vaatimuksista. Tämän jälkeen selvitetään peitelaitteen päätoiminto ja laaditaan tämän perusteella toimintorakennekaavio. Luvun loppupuolella keskitytään ideoiden lähteisiin.

4.1 Vaatimukset peitelaitteelle

Vaatimusmäärittely aloitetaan asiakasvaatimusten tunnistamisella. Tämän jälkeen tutustutaan kilpailevien peitelaitteiden kehitystason asettamiin vaatimuksiin. Näiden perusteella voidaan muodostaa vaatimuslista, josta selviävät suunnittelua ohjaavat vaatimukset, rajoitukset ja toiveet.

4.1.1 Asiakasvaatimukset

Peitelaitteen asiakasvaatimukset on saatu valmiina työn toimeksiantajalta. Asiakkaiden toiveita ja vaatimuksia ei ole kartoitettu laajasti, mutta toisaalta peitelaitteen toimintaan ei tule oletettavasti olemaan monimutkaista. Joillakin Multilift-skiploaderia käyttävillä nykyisillä asiakkailla on ollut kokemusta muiden valmistajien peitelaitteista, ja näiden asiakkaiden ajatusten ja arvioiden perusteella on muodostettu käsitys tulevan peitelaitteen asiakasvaatimuksista. Esille tulleita vaatimuksia ja tarpeita ovat:

- Peitelaitte on helppokäyttöinen
- Peitelaitte on varmatoiminen
- Peittäminen tapahtuu käyttäjän kontrolloimana, konevoimalla ja
- Peitelaitte ei saa haitata skiploaderiin liittyvää muuta toimintaa.

Nämä on muotoiltu Ulrichin ja Eppingerin (2008) ohjeiden mukaisesti. Näistä kaksi ensimmäistä ovat tavoiteltavia asioita kehitystyön kohteesta riippumatta. Helppokäyttöisyyteen voidaan ajatella sisältyvän muun muassa ergonomian ja käytettävyyden (myös kognitiivinen ergonomia) vaatimuksia. Käyttäjä luonnollisesti toivoo laitteen olevan helposti hallittavissa ja käytön helposti opittavissa. Käyttäjälle pitää jättää mahdollisimman pieni mahdollisuus virheelliseen käyttötapaan. Helppokäyttöisyyteen sisältyy myös esimerkiksi ylläpidon helppous.

Varmatoimisen laitteen oletetaan olevan käytettävissä, kun sitä tarvitaan. Laitteen tulee toimia ennakkoidusti kaikissa mahdollisissa käyttöolosuhteissa, joten esimerkiksi talviolosuhteiden ja liian kesto tulee ottaa huomioon. Laitteen huoltokohteet ja huoltojen ajoitukset on suunniteltava etukäteen.

Verrattuna kokonaan käsikäyttöiseen peitteeseen, jousijännitteisellä rullalla oleva peitelaitte on edistysaskel. Käyttäjät tärkeimmillä kohdemarkkinoilla kuitenkin toivovat laitetta, jossa peitteen asentoa ohjataan jostakin yhdestä paikasta, esimerkiksi vivuilla tai keinukytkimellä, ja muuta ei normaalitilanteessa tarvitse tehdä (Katajainen 2014). Parhaimpina pidetyt automaattiseksi määritellyt peitelaitteet toimivat tällä tavoin (emt.). Ohjauksen lisäksi voidaan satunnaisesti tarvita peitteen sivuliepeiden levittämistä tai peitteen kiristämistä, mikäli kuorman muoto tätä vaatii. Esimerkiksi lavan laidat ylittävät ja epämääräiset romukuormat voivat peitelaiteratkaisusta riippuen vaatia näitä lisätoimenpiteitä. Lavan peittämiseen tulisi käyttää mahdollisimman vähän käyttäjän manuaalista työtä.

Kuljettaja voi toisinaan joutua kiipeämään skiploaderin päälle, esimerkiksi kiinnittämään ajossa irronnutta turvalukotonta kuormaketjun lenkkiä. Tällöin on tärkeää, että peitelaitteen rakenteet eivät estä tai haittaa toimenpiteitä. Päinvastoin, peitelaitteella voidaan mahdollisesti helpottaa tilannetta, esimerkiksi muotoilemalla rakenteisiin tarttumapintoja ja kädensijoja. Mikäli ei käytetä radio-ohjausta, skiploaderin ja peitelaitteen ohjauspaikkana on todennäköisimmin skiploaderin alustan etunurkka. Näin ollen on tärkeää, että käyttäjä kykenee näkemään auton taakse sekä varsiston ja lavan liikkeitä.

Edellä mainittujen äänen lausuttujen tarpeiden lisäksi asiakkailta voi olla implisiittisiä tarpeita, joita ei osata ilmaista tai joita pidetään alitajuisesti itsestäänselvyyksinä. Perusasioita, jotka kaikenlaisissa tuotteissa pitää olla kunnossa, ovat esimerkiksi turvallisuus sekä sopiva hankintahinta ja käyttökustannukset. Vaikka peitelaitteen tapauksessa houkuttelevuus- ja kiinnostavuusseikat eivät ole yhtä tärkeitä kuin esimerkiksi viihdeelektronikassa, vaikuttavat nämä kuitenkin ostajaan ainakin alitajuisesti. Ei ole siis samantekevää, miltä peitelaitte näyttää. Lisäksi tuotteen pitää herättää käyttäjän luottamus olemalla toimivan ja turvallisen näköinen.

4.1.2 Kilpailutilanteen asettamat vaatimukset

Benchmarking-tutkimuksen perusteella voidaan hahmotella omalle kohteelle asetettavia tavoitteita. Liitteen 1 vertailutaulukosta puuttuu keskeisiä tietoja joidenkin laitteiden osalta, mutta osa laitteista on kuitenkin keskenään niin samankaltaisia, että oman konseptikehityksen vaatimuksille saadaan hyödyllistä pohjatietoa. Yhtenä tavoitteena on, että hyvän peitelaitteen tulee toimia nopeasti, jotta siitä saadaan todellista lisäarvoa verrattuna peitteen levittämiseen käsin. Kilpailijavertailun mukaan nopeimmin lavan peittävät Transcover VCover sekä Shur-Co Skip 9000. Molemmat suoriutuvat yritysten markkinointimateriaalien mukaan alle 10 sekunnissa (Transcover 2014; Shur-Co 2014a), joten tämä otetaan tavoiteltavaksi arvoksi. Hitaimmin suoriutuu Hyva Autosheet System, jolta lavan peittämiseen kuluu aikaa jopa minuutti (Hyva 2013).

Vertailun laitteissa on eroja myös erilaisten lavojen peittokyvyssä. Monet ilmoittavat, että peitelaitte kykenee peittämään kaikki koot, luonnollisesti skiploaderin kapasiteetin rajoissa. Laajimman vaihteluvälin esittää Boughton (2014): 4–16 yd³ (noin 3–12 m³). Tämä otetaan siis tavoitteeksi. Luultavasti muillakin tämän kokoluokan laitteilla peittokyky on samaa suuruusluokkaa.

Yksittäisille laitteille ilmoitetut myyntihinnat antavat käsityksen peitelaitteiden hinnoittelun peruste ei kuitenkaan ole tiedossa, joten ei voida tarkasti arvioida valmistuskustannuksia. Jos lisäksi laitteita tilataan kerralla paljon, laitekohtainen hinta on yleensä matalampi. Halvin laitteista on VCover, hinnaltaan 1250 £ eli kirjoitushetkellä hieman yli 1500 € (mrw 2014). Nivelöidyillä varsilla varustetulle Shur-Co Xcalibur Automatic -laitteelle on ilmoitettu myyntihinta 2800 £ eli noin 3450 € (Thompsons 2014a). Xcalibur näyttää systeeminä monimutkaisemmalta kuin VCover, mistä korkeampi hinta osittain johtunee. Muut nivelöidyillä avausvarsilla varustetut laitteet muistuttavat huomattavasti Xcalibur-laitetta, joten luultavasti hinnatkin ovat samaa luokkaa. Verrattuna skiploaderiin peitelaitte on melko uusi ja kehittymätön tuote, ja joissakin peitelaitteissa on havaittavissa vielä alkuvaiheen tuotevirheitä (Katajainen 2014). Monien laitteiden toiminnassa sekä luotettavuudessa on puutteita, ja on huomattu, että asiakkaat ovat valmiita maksamaan sujuvasti toimivasta ja luotettavasta laitteesta korkeamman hinnan (emt.).

Toiveeksi otetaan mahdollisuus retrofit-asennukseen, eli laitteen asentamiseen jo käytössä olevaan skiploaderiin. Lähes kaikki vertailun laitteet on mahdollista asentaa myös erimerkkisten skiploaderien yhteyteen, mutta tätä ei oteta tavoitteeksi tässä kehitysprojektissa.

Peitelaitteen ulkomittojen tulisi sisältyä skiploaderin mittoihin, kuten kilpailijoilla parhaimmillaan (vrt. Boughton Intacova). Laite ei luonnollisesti saa haitata varsinaisen skiploaderin käyttöä. Rakenteiden huolellisella yhteensovittamisella vältetään muun muassa kolhuja ja törmäyksiä. Lisäksi tämä helpottaa satunnaista kiipeilyä laitteen päällä, esimerkiksi irronneen kuormaketjun kiinnityksen aikana. Epäedullisia ovat laitteet, joissa varret ovat kiinni korokkeen päällä skiploaderin sivussa. Ehdottomana vaatimuksena on, että peitelaitte ei ylitä tieliikennelakien mukaista maksimaalista leveyttä ajon aikana.

4.1.3 Ensimmäinen vaatimuslista

Taulukossa 4.1 on peitelaitteen kehityksen alkuvaiheen vaatimuslista. Vaatimuslista on muodostettu soveltaen Pahl et al. (2007, s. 147–149) suosittamaa muotoa ja jaottelua. Lista perustuu edellä esiteltyyn kilpailijoiden vertailuun sekä asiakasvaatimuksiin ja yrityksen asettamiin reunaehtoihin. Tähän vaatimuslistaan perustuu konseptivaihtoehtojen kehitys ja osittain arviointi sekä valmiin tuotteen verifiointi. Konseptien valinnan jälkeen vaatimuslistaa tullaan täydentämään ja tarkentamaan. Listalle on merkitty V ehdottomien vaatimusten ja T toiveiden kohdalle. R tarkoittaa rajoitusta, esimerkiksi vapaan tilan kokoa. Konseptivaihtoehtoa ei voida hyväksyä, mikäli ehdoton vaatimus jää toteutumatta. Toiveiden toteutuminen taas puolestaan lisää konseptin arvoa valinnassa. Oikeanpuoleisessa sarakkeessa on merkitty miten vaatimus verifioidaan. M tarkoittaa mittausta, S simulointia, A arviota ja T testausta.

Dimensioihin liittyvät vaatimukset ovat liikkuvassa laitteessa tärkeitä. Leveysrajoitus 2590 mm tulee tieliikennelaista, joka Euroopan unionin maissa perustuu Euroopan komission asetukseen. Normaalisti suurin sallittu kokonaisleveys on 2550 mm, mutta

peitelaitteiden rakenteet saavat poikkeuksellisesti olla 20 mm ulompana per puoli, maasta 2 m korkeuteen mitattuna. (Comission Regulation (EU) 2012). Edellä mainittu leveysvaatimus kuuluu ECWVTA-tyyppihyväksyntään (lyhenne engl. sanoista *European Community Whole Vehicle Type Approval*), joka skiploaderikäytössä käytettävien N3-luokan kuorma-autojen ja lisälaitteiden osalta astui pakollisena voimaan EU-alueella lokakuussa 2014 (VCA 2014) Korkeus ei saa ylittää skiploaderin suurinta korkeutta käytön eikä ajon aikana, jotta peitelaitte ei muodostu auton käyttöä rajoittavaksi tekijäksi. Nostovarsien ulkopuolella peitelaitteen rakenteille jää tilaa kummallakin puolella noin 50 mm, välykset pois lukien. Nostovarren ja lavan väliin jää tilaa noin 50 mm lavan yläosan kohdalle, kuormaketjujen yläpuolelle.

Tavoiteltavaksi peitettävien lavojen tilavuuden vaihteluväliksi on määritelty noin 3–12 m³. Näistä suurin, CHEM-standardin mukainen 12 m³ epäsymmetrinen lava rajoittaa suunnittelua eniten (CHEM TS 14 2000, s. 3). CHEM on vaihtolavalaitevalmistajien järjestö Britanniassa (lyhenne engl. sanoista *Container Handling Equipment Manufacturer's Association*), joka tuottaa ja ylläpitää alan standardeja (CHEM 2015). Lavoja joudutaan toisinaan kuljettamaan 180° pysty akselin ympäri käännettynä, jolloin lavan korkea reuna on takana. Tällöin peitteen ei kuitenkaan tarvitse ylettyä takana alas asti, vaan lavan ylänurkkaan. DIN-standardin mukainen 10 m³ symmetrinen lava on enimmillään yhtä korkea kuin edellä mainittu 12 m³ lava, mutta lyhyempi (DIN 30720-1 2009, s. 6-8). Jotta määritellyt lavat peittyvät täydellisesti, on peitteen katettava lavan alareuna edessä sekä alareuna takana. Tasaisesti kuormatun lavan painopiste asettuu skiploaderin alustalla noin kuormaketjujen nivelpisteen, kun nostovarsien teleskoopit ovat lyhimmissä asennossa.

Peitelaitteen massan tulisi olla alle 100 kg. Massalla on yhteys muun muassa polttoainekuluihin ja yleensä myös valmistuskustannuksiin. Liika materiaali maksaa paljon, mutta myös erittäin kevyt rakenne on kallis. Massa ei peitelaitteessa ole erityisen tärkeä tekijä, sillä se on kuitenkin pieni verrattuna skiploaderin massa. Vertailun vuoksi todettakoon, että Harsh Flip 'N' Go -peitelaitte painaa noin 80 kg (Harsh 2008). Laite toimii samalla perusperiaatteella kuin esimerkiksi Transcover VCover, mutta on tarkoitettu kippaavien lavojen yhteyteen asennettavaksi.

Taulukko 4.1. Peitelaitteen vaatimuslista.

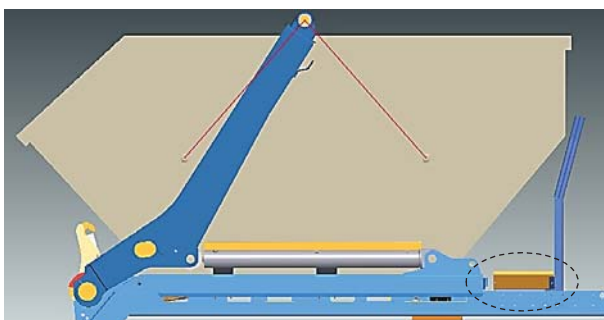
tekijä: Salonen	Vaatuslista		
	Peitelaitte		
Muutos pvm	V T R	Vaatimukset ID Vaatimus	verifiointi M, S, A, T
	V R R	1 Geometria ja mitat 1.1 Peitelaitteen leveys ≤ 2590 mm (maasta 2 m korkeudelle) 1.2 Tila peitelaitteelle ulkopuolella ≤ 50 mm/puoli 1.3 Tila lavan ja nostovarren (ketjujen) välissä ≤ 40 mm	M

V	1.4 Peitelaitteen osien ulottuma ylöspäin < 4550 mm (= nostovarsien max ulottuma)	M
V	1.5 Seuraavien lavojen peittäminen täydellisesti: CHEM TS 14 mukaisesti (CHEM TS 14 2000, s. 3) - peitettävä koko ≤ 12 m ³ (vähintään) - korkeus ≤ <u>2000 mm</u> , kaikki lavat - leveys ≤ 1970 mm, kaikki lavat (→ peitteen leveys) symmetriset: - pituus ≤ 4600 mm epäsymmetriset: - pituus keskilinjasta eteen ≤ <u>2200 mm</u> - pituus keskilinjasta taakse ≤ <u>2396 mm</u> DIN 30720-1 mukaisesti (DIN 30720-1 2009, s. 6-8) - peitettävä koko ≤ 10 m ³ - leveys ≤ 1950 mm, kaikki lavat symmetriset: - korkeus ≤ 2000 mm - pituus ≤ 4000 mm epäsymmetriset: - korkeus ≤ 1800 mm - pituus ≤ 3870 mm	T
V	1.6 Autolla ajettaessa peitelaitteen suurin ulottuma ylöspäin oltava < 2520 mm auton rungosta mitattuna (= pienempi kuin skiploaderin korkeus)	M
T	1.7 Peitelaitteen massa < 100 kg	M
T	1.8 Mahdollisuus asentaa isomman skiploaderin yhteyteen	T
V	1.9 Toimittava runkopidennyksen + 300 mm kanssa	T
T	1.10 Toimittava runkopidennyksen + 600 mm kanssa ja ilman pidennystä	M
V	1.11 Peitelaitteen mahdollista sallitun takaylityksen rajoihin	M
V	1.12 Peitelaitte ei saa peittää skiploaderin/auton takavalaja	T
	2 Käyttö ja toiminta	
V	2.1 Kestävä rakenne - iskujen kesto - varmuus myötämisen suhteen - väsymiskesto - säänkesto (mahdolliset sähkökomponentit vähintään IP55) - lian kesto - kemikaalien kesto (esim. maantiesuola)	S, T
V	2.2 Luotettava toiminta ilman ongelmia	T
V	2.3 Peite ei saa takertua kuormaan tai skiploaderin rakenteisiin	T
V	2.4 Peitteen ja avausmekanismien säilytys siististi kotiasennossa	A
V	2.5 Peitelaitteen rakenteiden pysyminen riittävän tukevasti paikallaan auki-asennossa	T
T	2.6 Korkeiden kuormien peittäminen (peitteen laajennettavuus)	
V	2.7 Ei vaadi normaalitilanteissa muuta manuaalista työtä kuin laitteen ohjauksen	
V	2.8 Peittämiseen kuluva aika < 40 sekuntia, (toiveena < 10 s) (avaamisliik- keelle sama vaatimus)	M
V	2.9 Kestoikä: noin 8-10 lavaa päivässä, käyttöikä 10 vuotta	

	3 Ergonomia ja käytettävyys	
T	3.1 Helposti opittava käyttö	A
V	3.2 Virheiden mahdollisuus käytön aikana minimoitava	
T	3.3 Ohjauslaitteiden oltava ergonomian kannalta hyvin sijoitettu	A
V	3.4 Oltava selkeä vaste ohjauksen ja laitteen toiminnan välillä	
T	3.5 Käyttäjää/ostajaa miellyttävä laitteen ulkomuoto	A
	4 Ohjaus	
V	4.1 Käyttäjä kontrolloi peitelaitteen liikettä	
V	4.2 Käyttäjä tunnistaa peitelaitteen aseman	
T	4.3 Automaattinen aseman tunnistus ja liikkeen pysäytys (peite auki, peite kotiasemassa)	
V	4.4 Ohjauspaikka auton ulkopuolella	
T	4.5 Radio-ohjaus (optiona skiploaderissa)	
V	4.6 Laite kyettävä pysäyttämään nopeasti kesken liikkeen, esimerkiksi esteen havaitsemisen vuoksi	T
	5 Turvallisuus	
V	5.1 Osat eivät saa liikkua hallitsemattomasti sähkökatkon tai muun odottamattoman toiminnan seurauksena	T
V	5.2 Peitelaite pysähtyy kun käyttökytkin/vipu vapautetaan	T
V	5.3 Kuorman on pysyttävä lavalla ajon aikana maksiminopeuksissakin (DE 80 km/h, UK 90 km/h)	T
T	5.4 Peitteen on pysyttävä kireällä ajon aikana	T
V	5.5 CE-merkitty, konedirektiivin mukainen laite (EU Machinery Directive 2006/42/EC)	A
V	5.6 Peitelaite ei saa haitata skiploaderin käyttöä	
	6 Valmistus, kokoonpano ja asennus	
T	6.1 Valmistettavissa tavallisin menetelmin, esim. laserleikatut ja särmätyt tai taivutetut levyrakenteet, valuosat, hitsaus, koneistetut osat	A
T	6.2 Ei raskaita yksittäisiä komponentteja	M
T	6.3 Kokoonpano ja asennus ilman erityistaitoja	A
T	6.4 Peitelaite ei vaadi sovittamista tai vaativaa säätämistä asennusvaiheessa	A
T	6.5 Retrofit-asennus mahdollinen	
T	6.6 Standardi- ja osto-komponenttien hyödyntäminen	
	7 Huolto ja korjaus	
T	7.1 Huolto ilman erikoisosaamista ja erikoistyökaluja	A
T	7.2 Peitteen vaihtaminen, aika < 30 min	T, M
	8 Kustannukset	
V	8.1 Asiakkaan saama lisäarvo → kyettävä kuljettamaan ≥ 1 lava /päivä enemmän verrattuna manuaaliseen peittämiseen.	T
V	8.2 Välittömät tuotekustannukset < sallitut kustannukset	M
T	8.3 Myyntihinta < 3500 €, mielellään < 1500 € (kilpailijavertailun löydettyistä hinnoista kallein ja halvin)	
	9 Materiaalit	
T	9.1 Kestävä peitemateriaali, ei saa rikkoutua terävien esineiden kontaktista tai hankauksesta	T
T	9.2 Vaihtoehtoina verkko- ja umpipeite	

	R	10 Pakkaaminen ja kuljetus	A
	T	10.1 Kuljetuksessa käytettävissä kuorma-auton trailerin normaali kuormatila 10.2 Voidaan toimittaa peitelaitte erikseen ilman skiploaderia (retrofit)	
	T	11 Muuta 11.1 Antaa vaikutelman hyvästä laadusta ja toimivuudesta (premium-tuote)	
	V	12 Aikataulu 12.1 Konseptivaiheen oltava valmis 2014 elokuun lopussa, prototyyppi valmis testaukseen tiettyä ajankohtana alkuvuodesta 2015	

Kuvassa 4.1 on esitetty CAD-kokoonpano kuvattuna oikealta sivulta. Kuvassa näkyy niin sanottu alustanpidennys (engl. *platform extension*) katkoviivalla kehystettynä laitteen etureunassa, ohjaamonsuojan vieressä. Kuvassa näkyvä CHEM-standardin mukainen nimellistilavuudeltaan 12 m³ lava mallinnettiin tätä työtä varten. Skiploaderia on saatavana eri alustapituuksilla, joista peitelaitteen tulee toimia ainakin 300 mm pidennyksen kanssa. Toiveena on, että peitelaitte toimii myös ilman alustanpidennystä ja 600 mm pidennyksen kanssa. 600 mm pidennystä tarvitaan suurimpien lavojen kuljettamiseen, jotta lavan ja ohjaamonsuojan väliin jää käytössä tarpeeksi tilaa. Esimerkiksi ranskalaisen AFNOR NF R17-106 -standardin mukaan minimietäisyys ohjaamon ja lavan välillä saa olla 200 mm (AFNOR NF R17-106 2001, s. 8.)



Kuva 4.1. 12 m³ CHEM-lava skiploaderin päällä ja alustanpidennys kehystettynä.

Britannian ajoneuvolainsäädännön mukaan takaylitys maantieajoneuvossa saa olla enintään 60 % akselivälistä, mitattuna kaksiakselisella ajoneuvolla taka-akselista lähtien. Toisaalta suurin takaylityksen heilahdus käynnön vastakkaiseen suuntaan saa olla enintään 0,8 m, kun autolla käännyttään 12,5 m kääntöympyrällä. (RVCUR 1986.) Kaksiakselisen auton taka-akseli asettuu noin skiploaderin pääsylinterin takimmaisen nivelpisteen kohdalle. Takaylitys tästä pisteestä mitaten saa olla hieman yli 2 m, kun oletetaan akseliväliksi noin 3800 mm.

Lisäksi kuorma-auton takaylityksessä tulee ottaa huomioon alleajosuojat, jonka tehtävä on estää törmäyksessä matalamman auton työntyminen kuorma-auton alle. Alle 2 m korkeudella maasta mitattuna rakenteet saavat ulottua 400 mm alleajosuojaa taakemmas (vähennettynä alleajosuojan enimmäismyödyllä). Yli 2 m korkeudella noudatetaan edellä mainittua takaylityksen yleistä sääntöä. (UNECE 1958.) Kun peitelaitte täyttää

takaylityksen ja alleajosuojan asettamat vaatimukset, on vielä varmistuttava, että laite ei peitä takavaloja. Valot on usein kiinnitetty skiploaderin tukijalkojen yläosaan, joten peitelaitteen osat saavat ulottua takana alimmillaan noin skiploaderin pääakselin tasolle.

Käytön kannalta on tärkeää, että peitelaitte on kestävä. Laitteen tulee kestää käyttötilanteissa syntyvät mahdolliset tärähdykset ja kolhut, esimerkiksi törmäykset puiden oksiin. Kestävyyttä edesauttaa, jos auki-asennossa peitelaitte ei poikkea merkittävästi skiploaderin muodoista. Rakenteilla tulee olla riittävät varmuuskertoimet myötämisen ja väsymisen suhteen, ratkaisusta riippuen. Esimerkiksi metallirakenteiden lujuusominaisuuksia voidaan arvioida tietokoneavusteisesti elementtimenetelmään perustuvalla analyysillä. Laite on tarkoitettu ulkokäyttöön, joten sen on luonnollisesti kestävä erilaisia sääolosuhteita, maantiesuolaa ja likaa. Säänkestoon voidaan vaikuttaa esimerkiksi pintakäsittelyllä. Laitteen niin sanottu luotettavuus muodostuu muun muassa edellä mainituista seikoista, joiden lisäksi sen on toimittava ennakoidulla tavalla kaikissa tilanteissa. Luotettavuutta voidaan arvioida esimerkiksi testikäytöllä.

Peitelaitteen tulee toimia siten, että se ei vaadi käyttäjältä muita toimia kuin laitteen ohjauksen. Peite ei saa takertua epämääräisen muotoisiin korkeisiin kuormiin tai varsinkaan hajota kevyestä terävien esineiden kosketuksesta. Peitteellä tulisi pystyä kattamaan myös korkeat kuormat, minkä useat kilpailijat ovat ratkaisseet käsin levitettävillä peitteen lisäliepeillä. Näiden levittämistä ja mahdollista kiristysnarujen käyttämistä voidaan pitää poikkeustapauksina, jotka sallitaan satunnaisesti.

Peitteen mahdollisen avausmekanismin tulisi pysyä riittävän tukevasti paikallaan ajon aikana ja peitteen riittävän tiukasti lavan päällä. Peitteellä tulisi myös olla niin sanottu kotiasento, jossa se on siististi suojassa, kun sitä ei tarvita. Kotiasennossa myös peitteen avausmekanismien tulee niin sanotusti sulautua mahdollisimman huomaamattomasti skiploaderin muotoihin, sekä turvallisuuden että esteettisyyden takia. Auki-asennossakin rakenteiden tulee näyttää skiploaderin muotoihin sopivalta.

Skiploaderilta vaadittava kestoikä on vähintään 10 vuotta siten, että työpäivän aikana kuljetetaan 8–10 lavaa. Arkipäiviä on noin 260 vuodessa, joten peitelaitteelle kertyy tavoitellussa käyttöiässä noin 20800–26000 sykliä, jotka koostuvat peitto- ja avausliikkeestä.

Ergonomia ja käytettävyys on myös syytä ottaa huomioon, vaikka oletettavasti kyseessä tulee olemaan toiminnaltaan ja ohjaukseltaan yksinkertainen laite. Kun tekniikka ja sen käyttö tehdään käyttäjän ominaisuuksille sopivaksi, on työskentely mukavaa, tehokasta ja turvallista. Käytön tulisi olla helposti sisäistettävissä ja virheiden mahdollisuus olisi minimoitava. Ohjauslaitteet tulisi sijoittaa keskimääräisen kokoisen käyttäjän kannalta sopivasti. Kuten muissakin laitteissa, on käyttäjän saatava laitteen ohjauksesta selkeä vaste. Esimerkiksi suuria viiveitä komennon ja liikkeen välillä ei voida sallia. (Launis & Lehtelä 2011.) Käyttäjällä on tässä tapauksessa myös oltava näköyhteys peitelaitteeseen käytön aikana.

Myös laitteen estetiikka on osa ergonomiaa. Yleensä kuluttajatuotteissa esteettiset näkökohdat ovat tärkeitä, mutta myös ammattilaislaitteiden kohdalla nämä kannattaa ottaa huomioon. Peitelaitteen tulee olla miellyttävän näköinen ja sopia muotoilullisesti

yhteen ainakin Multiliftin oman skiploaderin ja muiden tuotteiden kanssa. Peitelaitteen tulee näyttää siltä, että se hoitaa tehtävänsä moitteettomasti ja varmasti. Esimerkiksi vaikka jonkin osan taipuma olisi lujusteknisesti sallituissa rajoissa, voi se käyttäjälle näyttää vaaralliselta ja epäluotettavalta.

Lähtökohtaisesti **ohjaus** tapahtuu siten, että käyttäjä kontrolloi peitelaitteen liikettä ja tunnistaa näköyhteyden perusteella peitelaitteen aseman. Mikäli kuitenkin laitteen päätyasemien automaattinen tunnistus ja liikkeen katkaisu perustuen näihin signaaleihin kyetään toteuttamaan riittävän matalin kustannuksin, voidaan tällä helpottaa käyttäjän toimintaa. Koneissa päätyasemien tunnistamisessa käytetään tavallisesti hyväksi muun muassa anturointia ja releitä tai ohjelmoitavaa logiikkaa. Toisaalta näiden käyttäminen voi lisätä riskejä esimerkiksi sähköjärjestelmän tai komponenttien häiriötapauksissa. Peitelaitte on kyettävä pysäyttämään liikkeen missä tahansa vaiheessa, esimerkiksi esteen takia. Nykyisen skiploaderin ohjaus tapahtuu joko vivuilla auton ulkopuolella, ohjaamon sijoitetulla pneumaattisella ohjauksella tai radio-ohjauslaitteella. Peitelaitteen ohjaus tullaan todennäköisesti yhdistämään skiploaderin ohjaukseen. Jos ohjaus tapahtuu esimerkiksi vain yhdellä painikkeella, voidaan tällainen sijoittaa helposti erilleenkin.

Turvallisuus on tärkeä vaatimuslistan osa. Peitelaitteen tapauksessa mitkään komponentit eivät saa liikkua ilman käyttäjän komentoa. Mikäli auton sähköjärjestelmässä sattuu katko, eivät mitkään komponentit saa ajautua hallitsemattomaan liikkeeseen. Niin sanottu kuolleen miehen kytkin toteutetaan siten, että ohjauskytkimestä irrotettaessa laite jää paikalleen tai sammuu. Oleellinen vaatimus, johon koko peitelaitteen tarve perustuu, on kuorman pysyminen lavalla ajon aikana. Toivottavaa myös on, että peite pysyy kireänä ajossa kaikilla nopeuksilla eikä esimerkiksi pääse lepattamaan ilmapirran vaikutuksesta. Peitelaitte ei myöskään saa haitata skiploaderin käyttöä, kuten jo asiakasvaatimuksena on. Laitteen tulee täyttää Euroopan komission konedirektiivin 2006/42/EC vaatimukset ja olla CE-merkitty (2006/42/EC).

Valmistukselle, kokoonpanolle ja asennukselle on asetettu enemmän toiveita kuin vaatimuksia. Vaatimuksena on retrofit-asennus eli mahdollisuus asentaa peitelaitte vanhan skiploaderin yhteyteen jälkikäteen. Kyseisen asennuksen tulisi olla toteutettavissa esimerkiksi ilman hitsaamista, niin sanotusti bolt-on -ratkaisuna. Universaali asennusmahdollisuus myös muiden valmistajien skiploaderien yhteyteen laajentaisi potentiaalista asiakaskuntaa. Kokoonpanon ja asennuksen tulisi olla suoritettavissa ilman erityisiä taitoja, kuten suurta työskentelyn tarkkuutta. Peitelaitteen asennukseen sisältyvä sovitaminen tai säätäminen tulisi minimoida, eli osien tulisi sopia suoraan tietyille paikoilleen. Komponenttien massa vaikuttaa asennuksen toteutukseen ja helppouteen, ja on toivottavaa, että yksittäisten komponenttien siirtelyyn ei tarvittaisi nostoapuvälineitä. Kokonaisen laitteen ja osakokoonpanojen liikutteluun näitä voidaan käyttää.

Valmistus tulisi kyetä tekemään tavallisilla, työn toimeksiantajalle sekä alihankkijoille tutuilla menetelmillä. Tämä säästää kustannuksia, koska ei jouduta perehtymään uusiin laitteisiin ja toimintatapoihin. Tässä tapauksessa tavallisia menetelmiä ovat muun muassa laserleikkaus, särmäys, taivutus, valaminen, erilaiset koneistukset ja hitsaus.

Kaikkea ei kannata valmistaa itse, vaan on pyrittävä hyödyntämään mahdollisimman paljon osto- ja standardikomponentteja, kustannukset huomioiden.

Huollon toteutettavuus ilman erikoisosaamista ja erikoistyökaluja on toivottavaa. Huoltoa helpottaa esimerkiksi erilaisten suojusten kiinnitys pikakiinnikkeillä, ruuveja käyttämättä. Konseptista riippuen huomiota on kiinnitettävä esimerkiksi voitelukohteiden merkitsemiseen ja sijoitteluun. Korjaustoimenpiteenä voidaan joutua tekemään peitteen vaihtaminen rikkoutumisen seurauksena vaikka toivottavaa on, että peitemateriaali kestää hyvin teräviä esineitä ja hankausta. Lisäksi peitteen materiaalia voidaan haluta vaihtaa, esimerkiksi hiekan kuljetusta varten verkkorakenteisesta umpinaiseen. Vaihdon tulisi onnistua ulkotiloissa ja myös talviolosuhteissa alle 30 minuutissa. Vaihto aika vähentää suoraan tuottavan työn määrää.

Asiakkaan on saatava mitattavaa lisäarvoa peitelaitteen käyttämisestä verrattuna manuaaliseen peitteen levittämiseen tai laitteeseen, jossa on vain koneellinen rullan korkeussäätö. Kuljettajan on kyettävä automaattisen peitelaitteen avulla kuljettamaan vähintään yksi lava lisää päivässä. Jotta peitelaitte on järkevästi kilpailukykyinen suhteessa kilpailijoihin, on välittömien tuotekustannusten oltava tietyllä toimeksiantajayrityksen määrittelemällä tasolla. Laitteen myyntihinnan tulisi myös pysyä kilpailijoiden hintojen tasolla tai sen alapuolella.

Peitelaitte tulee pystyä **kuljettamaan** ainakin yhdistelmäajoneuvon kyydissä sekä mahdollisesti myös merikontissa. Laitteen tulee mahtua näihin tiloihin tai olla purettavissa helposti selkeisiin kokonaisuuksiin. Peitelaitte voidaan toimittaa joko erikseen tai skiploaderiin kiinnitettynä.

Peitelaitteen kehitysoikeudelle on säädetty **aikataulu** siten, että konseptivaiheen tulisi olla valmis noin kuuden kuukauden kuluttua projektin aloittamisesta. Konseptivaiheen lopuksi valitaan yksi tai korkeintaan muutama konsepti jatkokehitystä ja yksityiskohtaista suunnittelua varten.

4.2 Toimintorakenne

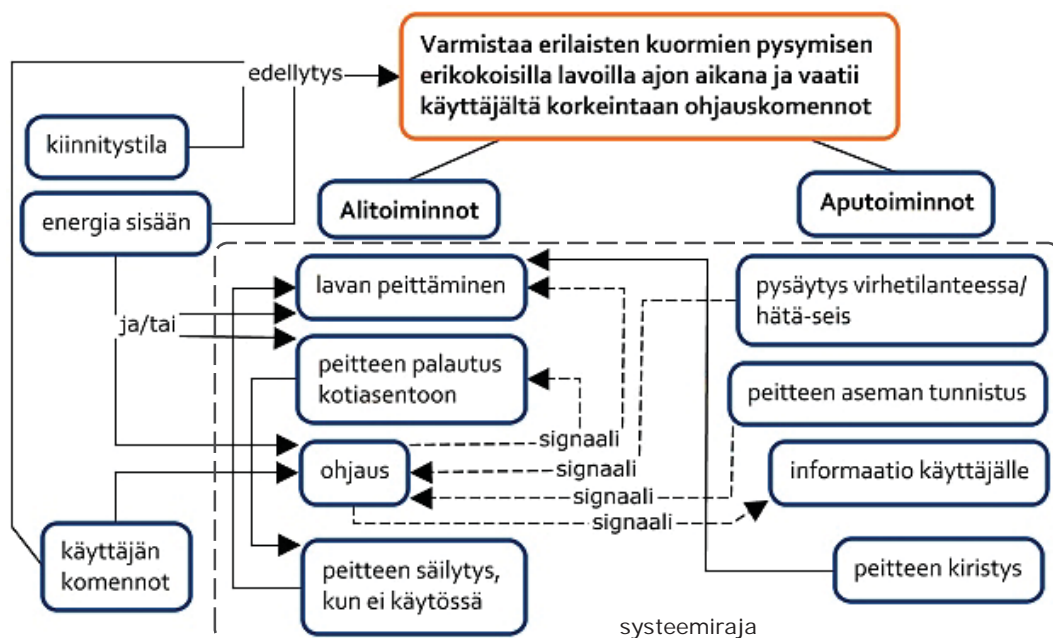
Vaatuslistan laatimisen jälkeen suoritetaan abstrahointi. Tämä tehdään vaiheittain vaatuslistaa luvussa 3.3 mainittujen ohjeiden mukaan karsimalla ja pelkistämällä. Vaiheiden 1–4 tuloksena vaatuslista supistuu seuraavaan muotoon:

- Erikokoisten lavojen ja kuormien peittäminen täydellisesti
- Käyttäjältä vaaditaan korkeintaan ohjauskomennot
- Peittämisen on tapahduttava riittävän ripeästi ja
- Kuorman on pysyttävä lavalla ajon aikana kaikilla nopeuksilla.

Näistä muodostetaan vielä viidennen vaiheen mukaisesti perustehtävä, joka suunniteltavalla laitteella pitää pystyä toteuttamaan. Päätehtävä on: **Laite varmistaa erilaisten kuormien pysymisen erikokoisilla lavoilla ajon aikana ja vaatii käyttäjältä korkeintaan ohjauskomennot.**

Päätehtävästä voidaan rakentaa toimintorakennekaavio. Olemassa olevien ratkaisujen perusteella peitelaitte on suhteellisen yksinkertainen järjestelmä, verrattuna esimer-

kiksi autoon tai paperikoneeseen. Kaavio kuitenkin laaditaan, jotta voidaan tuotekehitysprosessin myöhemmässä vaiheessa tarkistaa, että kehitetty konsepti ja valmis tuote suorittavat kaikki tarvittavat toiminnot. Toimintorakennekaaviota voidaan siis käyttää verifiointin apuna. Lisäksi kaavio auttaa jäsentämään ajatuksia sekä mahdollisesti huomaamaan puutteita vaatimusmäärittelyssä. Kuvassa 4.2 näkyy peitelaitteen toimintorakenne.



Kuva 4.2. Peitelaitteen toimintorakennekaavio.

Kaaviossa ylimpänä on laitteen päätoiminto, tämän alla vasemmalla puolella ovat alitoiminnot ja oikealla aputoiminnot. Vasemmassa reunassa ovat edellytykset, joiden tulee täyttyä päätoiminnon suorittamisen mahdollistamiseksi. Systeemiraja on merkitty katkoviivalla, ja sen sisäpuolella ovat varsinaiset peitelaitteen toiminnot.

Edellytyksenä peitelaitteen toiminnalle on kiinnitys skiploaderin tai kuorma-auton rakenteisiin. Koska peitelaitte ei ole staattinen rakenne, tulee sen liikutteluun olla käytössä energiaa. Ulkoista energiaa voidaan tarvita lavan peittämisessä tai peitteen avaamisessa tai molemmissa. Käyttövoiman lähteenä voi olla esimerkiksi hydraulikka, pneumatiikka, tai sähkö, joita on saatavissa auton tai skiploaderin järjestelmästä. Kilpailijoiden laitteissa peitelaitteen systeemiin tuotavaa energiaa varastoidaan muun muassa jousiin. Lisäksi peitelaitte edellyttää käyttäjän antamia komentoja toimiakseen.

Lavan peittäminen ja peitteen palautus kotiasemaan voivat oletettavasti käyttää osittain samoja fyysisiä komponentteja, kuten nykyisillä kilpailijoilla. Näitä toimintoja voivat toteuttaa esimerkiksi erilaiset toimilaitteet tai jouset sekä avausmekanismat. Peittämisestä ja kotiasemaan palautuksesta voitaisiin tehdä yksityiskohtaisempi kaavio, mutta tässä vaiheessa ei haluta rajoittaa ideointia.

Kun peite ei ole käytössä, se tulee kyetä säilyttämään jossakin. Peite voi olla esimerkiksi kelattuna tai taiteltuna kotiasemassa, jotta se ei pääse vaurioitumaan muun toiminnan seurauksena ja näyttää siistiltä. Peitteen kiristys on puolestaan toiminto, joka

auttaa lavan kunnollisessa peittämisessä. Se varmistaa, että peite pysyy tukevasti paikallaan avattuna. Vaatimusmäärittelyn mukaan peitteen kiristys voidaan toteuttaa käyttäjän toimesta, mutta parempi vaihtoehto on, jos peite pysyy kireällä itsestään.

Jonkinlainen ohjausjärjestelmä on pakollinen, jos laitteessa on liikkuvia osia ja näitä halutaan kontrolloida. Ohjaus voi olla esimerkiksi hydraulinen venttiilistö tai sähköinen logiikkaohjaus. Ohjaus saa lähtötietoina komentoja käyttäjältä sekä energiaa toimiakseen. Energia voi olla esimerkiksi sähköä tai vivun väntämisen mekaanista energiaa. Virhetilanteessa, esimerkiksi esteeseen törmäyksessä, ohjaukselle tulee kulkea pysähtymiskäskey. Lisäksi peitteen päätyasemien tunnistus ja pysäytys voi toimia automaattisesti, jolloin ohjauksen tulee käytännössä saada signaali antureilta. Mikäli toteutus halutaan tehdä mahdollisimman matalin kustannuksin, voidaan aseman tunnistus jättää käyttäjän havaintojen varaan.

Käyttäjän on saatava laitteen ohjauksesta jonkinlaista palautetta. Ohjausjärjestelmä voi välittää tietoa toiminnastaan esimerkiksi ääriaseman osoittavin merkkivaloin tai näytön välityksellä. Vähintään käyttäjällä tulee olla näköyhteys laitteen toimintaan, jos järjestelmä ei itsenäisesti havainnoi esteitä ja päätyasemia.

4.3 Ennen uusien ideoiden muodostamista

Tässä työssä tehtävänä on ratkaista lavan peittäminen mahdollisimman järkevästi. Tähän tehtävään on kuitenkin etsitty ja löydetty ratkaisuja ennenkin, ja näiden ratkaisujen uudelleenkeksimistä halutaan välttää. Tämän takia tutustutaan muun muassa patenttijulkaisuihin sekä peitelaitetta muistuttaviin teknisiin sovelluksiin. Myös luonnosta löytyy peitelaitteen toimintaan verrattavia kohteita, joita tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti. Luvun lopussa keskitytään konsepti-ideointiin TRIZiin pohjautuen.

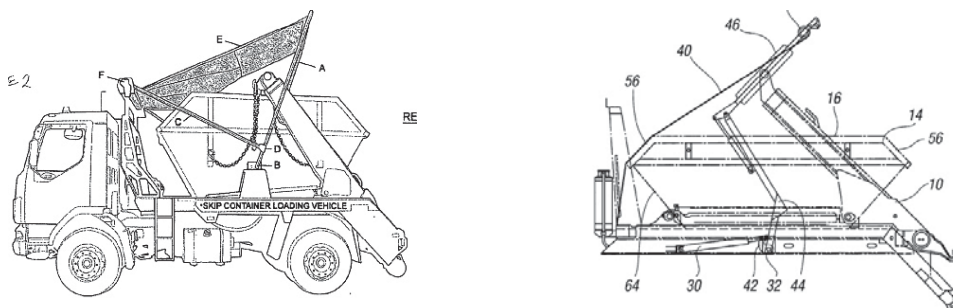
4.3.1 Patenttijulkaisuja

Työn käytännön osuuden toteutuksen alkupuolella tehtiin alustava patenttiselvitys. Eri-laisiin peitelaitteisiin ja peittämiseen liittyviin sovelluksiin liittyvinä hakusanoina käytettiin muun muassa seuraavia sanoja ja näiden yhdistelmiä: container, skip, load, lugger truck, truck, vehicle, cover, covering, sheet, sheeting, uncovering, device, enclosing, apparatus, bucket, tarpaulin, canopy ja awning. Kun ensimmäisten merkityksellisten tulosten perusteella saatiin selville sopivia patenttiluokkia, näitä käytettiin hyväksi uusissa hauissa. Peitelaitteen patenttiselvityksessä sopivia kansainvälisen patenttiluokituksen mukaisia luokkia olivat esimerkiksi B60P7 (luokan nimi: *Securing or covering of load on vehicles*) sekä B60J7/08.

Tässä on esimerkin vuoksi esitetty joitakin alustavan patenttiselvityksen tuloksia. Patenttijulkaisuja selattiin ja tutkittiin paljon, ja näistä merkittiin muistiin suunnittelu-työn kannalta tärkeimmät. Liitteestä 3 löytyy luettelo dokumentoitujen patenttijulkaisujen julkaisunumeroista. Hakemisessa käytettiin hyväksi Espacenet patenttitietokantaa, josta löytyy yli 80 miljoonaa patenttidokumenttia, vuodesta 1836 nykypäivään. (Espacenet 2014.) Selvityksen edetessä uusien peitelaitteeseen liittyvien julkaisujen löy-

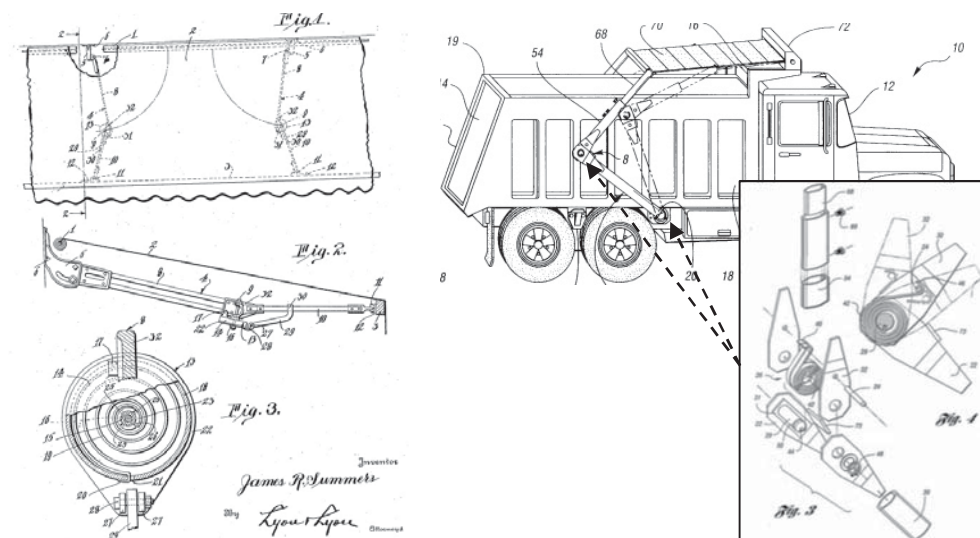
tymistahti hidastui ja hakujen tuloksien viitejulkaisut kumpaankin suuntaan alkoivat toistaa itseään. Kun uusia merkitykselliseltä vaikuttavia julkaisuja ei enää löytynyt, selvitystyö lopetettiin.

Kuvassa 4.3 näkyy vasemmalla Transcover VCover, jonka erikoisuutena on peitteen kiristysmekanismi (EP 2468549). Avaavaan kehikkoon on kiinnitetty toinen kehikko, joka painovoiman vaikutuksesta painaa peitteen alas lavan etureunan kohdalta. Patentihakemuksessa ei mainita yrityksen nimeä tai laitteen mallia, mutta laite on selvästi tunnistettavissa. Kuvassa 4.3 oikealla on Harsh Skip Flip -laite (EP 1964703).



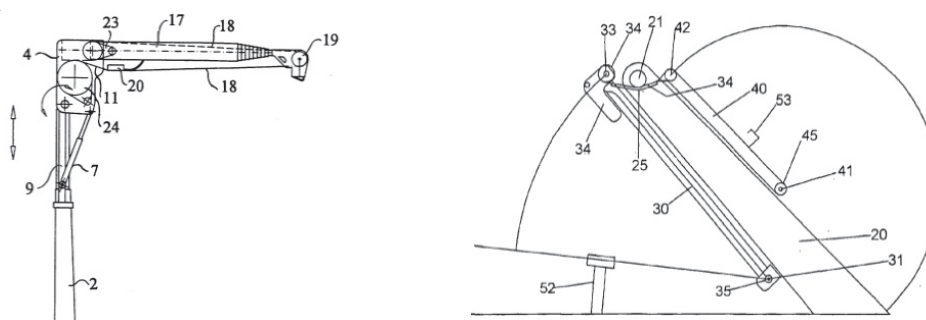
Kuva 4.3. Transcover VCover sekä Harsh Skip Flip (EP2468549; EP1964703)

Jousien käyttöön perustuvien peitelaitteiden toimintaperiaate on sama kuin markiisityyppisissä aurinkosuojissa. Kuvassa 4.4 näkyy vasemmalla tyypillinen aurinkosuojan mekanismi, jossa kangas avautuu rullalta avausvarsien keskiniveliin kiinnitettyjen vääntöjousten voimalla, kun rullaa päästetään kiertymään auki. Kun peitettä kelaataan kiinnipäin, jouset keräävät potentiaalienergiaa. (US 1717898.) Kuvassa 4.4 oikealla on tyypillinen jousitoiminen peitelaitte, jossa vääntöjouset heilauttavat avausvarret taakse, kun peitettä päästetään rullalta (US 5944374). Tässä niveliä on varressa kaksi, joisakin laitteissa vain yksi. Rullaa pyöritetään yleensä joko käsin tai sähkömoottorilla kierukkavaihteen välityksellä. Kierukkavaihte on suunniteltavissa itselukittuvaksi, mikä on tärkeä ominaisuus tällaisia sovelluksia ajatellen, koska erillistä jarrua ei tarvita.



Kuva 4.4. Markiisimekanismi ja jousitoiminen peitelaitte (US1717898; US5944374)

Vasemmalla kuvassa 4.5 on esitetty yksi suomalainen peitelaitteeksintö ja oikealla eräs skiploaderin peitelaitte (FI 100872; EP 1279538). Laitteet on kuvissa kuvattu vasemmanpuoleiselta sivulta. Suomalaisessa peitelaitteessa lujitemuoviset, teleskooppiset avausvarret toimivat itse myös pneumatiikkasyylintereinä. Varret kelataan takaisin kotiasemaan naruilla tai vaijereilla. (FI 100872) Kuvan 4.5 toinen laite on suunniteltu erityisesti skiploaderia varten. Peitteen avaavat varret on nivelöity skiploaderin nostovarsiin. Tässä on käytetty hyödyksi nostovarsien kummallakin puolella oleva tyhjä tila, mutta tämänkaltaisella laitteella ei ole sellaisenaan mahdollista peittää esimerkiksi tämän työn vaatimuslistan mukaisia suurimpia lavakokoja.



Kuva 4.5. Kaksi muuta peitelaittemallia (FI100872; EP1279538)

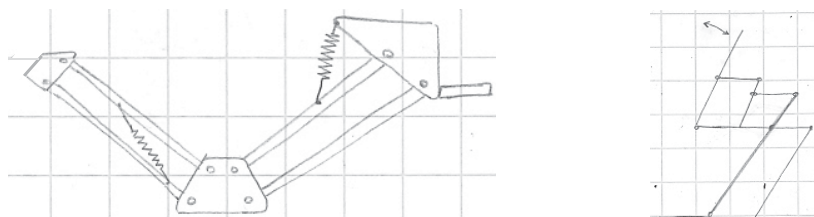
Alustavassa selvityksessä ei löytynyt merkittäviä skiploaderien peitelaitteisiin liittyviä patentteja. Markkinoilla olevista laitteista patenttihakemukset löytyivät vain Harshilta ja Transcoverilta, mutta nämä oli molemmat niin sanotusti vedetty pois (engl. *deemed to be withdrawn*) ennen patentin myöntämistä. Hakemus katsotaan poisvedetyksi maksamattomien maksujen takia (European Patent Office 2014).

4.3.2 Ideoita muusta tekniikasta ja luonnosta

Pelkästään olemassa olevien peitelaitteiden tutkiminen ei anna riittävän laajaa perustaa uuden peitelaitteen ideoinnille. Monissa teknisissä laitteissa ja luonnossa on samankaltaisia toimintoja kuin peitelaitteissa. Nykyisin markkinoilla olevien peitelaitteiden rakennetta muistuttavat esimerkiksi monet aurinkosuojat ja terassimarkiisit. Näissä perusideana on, että peite on lähtötilanteessa rullalla tai laskostettuna ja avausmekanismiin on varastoitu potentiaalienergiaa, esimerkiksi vääntö- tai kaasujousiin. Tästä peitettä päästetään avautumaan hallitusti. Peitteen takaisinkerääminen tapahtuu yleensä joko lihasvoimalla tai sähkömoottorilla, vaihteen välityksellä. Erilaisia aurinkosuojuja käytetään muun muassa rakennuksissa, terasseilla, matkailuajoneuvoissa ja veneissä.

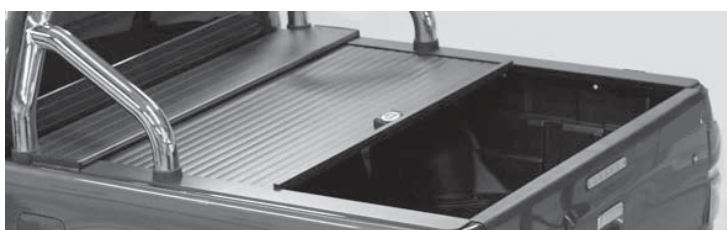
Valaisimien varsissa on käytössä kokoontaitettavia mekanismeja, jotka voivat olla esimerkiksi jousiavusteisia. Kuvassa 4.6 vasemmalla näkyy eräs varrellisen valaisimen (engl. *anglepoise lamp*) perusrakenne 90 astetta vastapäivään käännettynä. Tässä vetojouset pyrkivät suoristamaan varsistoa painovoimaa vastaan. Oikealla kuvassa 4.6 on periaatepiirros avoauton kattomekanismista. Kattomekanismit ovat tavallisesti raken-

teeltaan monimutkaisia ja toteuttavat kangaskaton avaamisen kaarevaa rataa pitkin. Vastaavankaltainen kaareva rata muodostuu myös skip-lavan yli.



Kuva 4.6. Nivelvarrellinen valaisin ja avoauton kattomekanismi.

Laitteita, joissa peitemateriaali voidaan säilyttää rullalla, ovat esimerkiksi uima-altaiden suojat, rullaverhot ja valkokankaat. Valkokankaissa ja rullaverhoissa kelausmekanismin jousi vetää kankaan rullalle, kun lukitusmekanismi vapautetaan kevyesti nykyisemällä. Uima-altaan peite voi olla yhtenäinen pressu, suojakangas tai kapeista toisiinsa nivelöidyistä paloista muodostettu. Toisiinsa nivelöidyistä paloista on muodostettu myös kuvassa 4.7 näkyvä avolava-auton lavan sisäänvedettävä peite (Armadillo Roll Top). Kyseisen peitelaitteen nimi tarkoittaa suomeksi vyötiäistä, jonka suojakuoren toimintaa peitteen mekanismi muistuttaa.



Kuva 4.7. Avolava-auton kuormatilan suoja (Armadillo Roll Top).

Kankaan tai verkon levittämisen tutkiminen voi tarjota vinkkejä peitelaitteen suunnitteluun. Esimerkiksi sängyn lakanan levittämiseen käytetään yleisesti tekniikkaa, jossa lakana asetetaan paikalleen ilmanvastusta hyödyntäen. Kangas levitetään nopealla liikkeellä ilmassa, minkä jälkeen se laskeutuu hitaasti likimain tasona patjan päälle. Kalastuksessa tai metsästyksessä voidaan käyttää verkkoa, joka levitetään heittämällä tai laukaisemalla se auki. Aukilaukaisussa voitaisiin käyttää esimerkiksi katapulteista tuttua tekniikkaa. Yksi kankaan levittämisen sovelluskohde on veneiden ja laivojen purje. Purjekangas tavallisesti laskostetaan säilytysasemaan, kun sitä ei tarvita, ja levitetään yleensä vinssiä hyödyntäen köysien ja taittopyörien välityksellä.

Esimerkiksi veneiden ja uusien autojen säilytyksessä käytetään hyväksi kutistemuovia, joka lämmön vaikutuksesta asettuu peitettävän esineen muotoon. Peitelaitteessa voisi käyttää tämänkaltaisia kertakäyttöisiä peitteitä, mikäli ne onnistuttaisiin valmistamaan kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti.

Luonnosta löytyy vyötiäisen lisäksi muitakin rakenteita ja mekanisme, jotka voisivat toimia sovellettuna kuljetettavan kuorman peittämiseen. Peite voisi rullautua auki ja kiinni kuin joidenkin viherkasvien lehdet nesteen paineen muutosten vaikutuksesta (ku-

va 4.8). Vastaavan vaikutuksen kuin kasvien lehtien rullautumisessa nesteen vaikutuksesta voisi saada aikaan paineilman avulla. Peite voisi esimerkiksi rullautua auki levittyen kuorman suojaksi painetta kasvatettaessa ja vetäytyä takaisin paineen laskiessa. Tämä edellyttäisi jonkinlaista joustavaa elementtiä tai muistimateriaalia, joka palauttaa peitteen alkuperäiseen muotoonsa rullalle. Kasvien lehdet ovat yleensä näennäisesti ohuita verrattuna lehden pituuteen ja leveyteen, joten näiden rakenteen jäljitteleminen olisi järkevää. Lehdet kykenevät yleensä kantamaan oman painonsa lisäksi myös ulkopuolista kuormaa, kuten kosteutta.



Kuva 4.8. Kasvin lehden rullautuminen (RGBStock).

Luonnon peittämisjärjestelmiä ovat esimerkiksi lentävien hyönteisten avautuvat kuoret, jotka ovat siipien suojana. Kuoret yleensä jakautuvat keskeltä ja avautuvat kummallekin puolelle. Suojakuorien mekanismeista voisi saada ideoita peitelaitteen mekaniikan yksityiskohtiin.

4.4 TRIZ-ideointia

TRIZiä voidaan käyttää tässä työssä ideoinnin taustalla. Lähtökohtana TRIZille on abstrahoitu päätehtävä, mikä rajoittaa ratkaisua mahdollisimman vähän. Perustehtävä on materiaalin kuljettaminen turvallisesti paikasta toiseen, mutta koko kuljetusprosessissa olisi todennäköisesti parantamisen varaa. Tämän kehitysprojektin ja opinnäytetyön puitteissa ei kuitenkaan ole mahdollista perehtyä näin laajoihin muutoksiin. Kehitystyön ideoinnissa keskitytään nykyisenkaltaiseen kuljetusprosessiin ja pyritään löytämään entistä parempia tapoja peittää kuljetettava materiaali. Ongelmaksi voi muodostua psykologinen inertia, joka johtuu muun muassa olemassa olevien peittämisratkaisujen tutkimisesta aikaisessa vaiheessa.

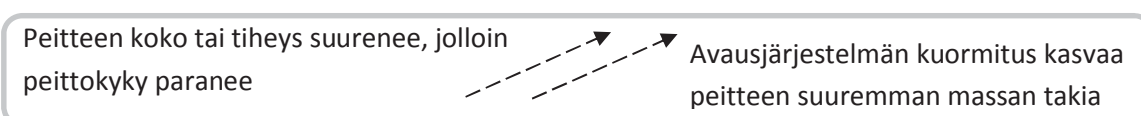
4.4.1 Ristiriitoja peitelaitteen systeemissä

Aluksi on listattava skiploaderin sekä peitelaitteen instrumentteja ja kohteita. Mahdollisia **kohteita** ovat esimerkiksi lava, kuorma, skiploader ja koko kuorma-auto. Näihin kohteisiin vaikuttavia **instrumentteja** ovat esimerkiksi peitelaitte, peite, skiploaderin nostovarret ja laitteen käyttäjä. Instrumentti vaikuttaa kohteeseen, joten sopivia pareja muodostavat muun muassa lava ja peite, kuorma ja peitelaitte sekä käyttäjä ja skiploader. Seuraavaksi instrumenttien ja kohteiden muodostamille systeemeille pyritään löytämään ominaisuuksia. Ominaisuuksia ovat esimerkiksi

- peitelaitteen tilankäyttö
- peitelaitteen integroituminen skiploaderiin
- peitteen koko
- peitteen tiheys
- peitteen kestävyys
- peitteen avausjärjestelmän kuormitus
- peittokyky ja sen sopeuttaminen tilanteeseen (erikokoiset lavat)
- peittämisen nopeus
- lavan ulkomitat
- monimutkaisuus
- valmistuskustannukset
- helppokäyttöisyys
- toimintavarmuus (tarkkuus, luotettavuus)
- manuaalisen työn määrä
- ilmanvastus
- myyntihinta ja
- suunnitteluresurssit.

Näiden ominaisuuksien väliltä löytyy teknisiä ja fysikaalisia ristiriitoja, joihin TRIZ saattaa tarjota ratkaisun. Teknisessä ristiriidassa on yleensä piilotettuna fysikaalinen ristiriita, ja tämän löytäminen ja ratkaiseminen voi johtaa merkittäviin uusiin keksintöihin. Lopuksi ristiriita pyritään vielä kärjistämään.

Seuraavassa kuvassa 4.9 näkyy eräs tekninen ristiriita, jossa hyvän ominaisuuden kasvattaminen kasvattaa myös huonoa ominaisuutta. Kun **peitteen laajuus tai tiheys suurenee, erilaisten lavojen ja kuormien peittokyky paranee**. Tällöin peite tulee kuitenkin samalla raskaammaksi, jolloin avausmekanismi, kuten nivelöidyt varret, kuormittuvat enemmän. Tällöin rakenteista tulee todennäköisesti painavammat. Toisaalta voidaan käyttää lujia ja kevyitä rakenteita, mutta tällaiset ovat yleensä kalliita.

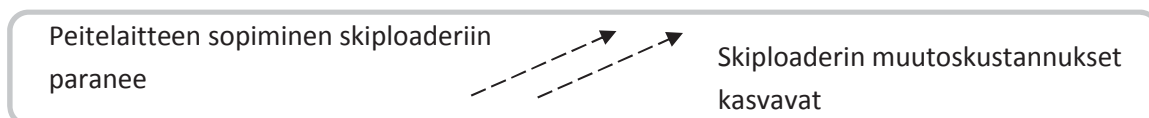


Kuva 4.9. Ristiriita peitteen ja avausjärjestelmän välillä.

Peitteen kokoon liittyy fysikaalinen ristiriita, jossa peitelaitteen tulisi mahtua pienen tilaan säilytystä ja kuljetusta ajatellen, mutta peitteen pitäisi toisaalta olla suuri avattuna, jotta lava peittyisi kokonaan, edestä taakse. Peitteen ja peitelaitteen pitäisi olla niin hyvin integroitu skiploaderiin, että se on huomaamaton ainakin kotiasemassa. Kärjitetysti esitettynä peitettä ei saa olla, kun sitä ei tarvita, mutta riittävän suuren peitteen tulee ilmestyä tyhjästä, kun kuorma halutaan suojata. Siis **peite pitää olla, mutta peitettä ei saa olla**, ajankohdasta riippuen. Toinen peitteen kokoon liittyvä fysikaalinen ristiriita löytyy peitteen ja lavan systeemistä. **Peitteen tulisi vaihtaa kokoa kuljetettavan lavan koon mukaan.** Peitteen varastoiminen jousijännitteiselle rullalle tarjoaa osit-

taisen ratkaisun, jolloin peitteen pituutta voidaan käyttää tarpeen mukaan. Yhtenä vaihtoehtona peitteen leveyden vaihteluun markkinoilla olevissa laitteissa ovat käsin levitettävät sivuliepeet, mutta tämä on kaukana ideaalisesta ratkaisusta. Teknisesti ristiriitaisia ominaisuuksia ovat myös peitteen kestävyys ja tiheys. **Peitteen materiaalin tulisi olla kestävä, mutta samalla kevyt.** Kun peitteen tiheys kasvaa, myös kestävyys kasvaa.

Peitelaitteen ja skiploaderin systeemissä muodostuu tekninen **ristiriita peitelaitteen tilankäytöstä**. Peitelaitte tarvitsee tilaa jostain skiploaderin kohdasta, mutta skiploaderin rakenteita ei haluta tai voida muuttaa merkittävästi, suunnittelukustannusten kasvamisen takia. Mitä paremmin peitelaitte suunnitellaan osaksi skiploaderia, sitä paremmin laitteiden muodostamasta kokonaisuudesta tulee yhtenäisen näköinen ja toimiva. Kuvassa 4.10 on esitetty tämä ristiriita.



Kuva 4.10. Peitelaitteen skiploaderiin sopimisen ja kustannusten ristiriita.

Skiploaderiin tehdään muutoksia samaan aikaan peitelaitteen konseptisuunnittelun kanssa, mutta tämä tarjoaa mahdollisuuksia korkeintaan pieniin edistysaskeleisiin. Lavan peittäminen ja skiploader pitäisi suunnitella alusta alkaen kokonaan uudestaan, mikä ei tässä suunnitteluprojektissa ole mahdollista. Kuvan 4.10 tekninen ristiriita kärjistyy fysikaaliseen ristiriitaan: **peitelaitte pitää olla ja peitelaitetta ei saa olla**. Eräs ratkaisu tähän olisi poistaa peitelaitte ja jättää jäljelle pelkkä käsikäyttöinen peite. Tämä on kuitenkin ristiriidassa vaatimusmäärittelyn kanssa. Manuaalisen työn olemassaolo luokitellaan myös fysikaaliseksi ristiriidaksi.

Keskeinen tilankäytön tekninen ristiriita liittyy skiploaderin nostovarsien ja peitelaitteen systeemiin. Jos nostovarsia ei olisi, peitelaitteen rakenteen ja sijainnin suunnittelussa olisi paljon enemmän mahdollisuuksia. Nostovarsien siirtäminen toisiaan lähemmäs vähentäisi lavalle varattua tilaa, mitä ei pidetä toivottavana. Tällä hetkellä nostovarren sisällä oleva tietyn kokoinen teleskooppisylinteri rajoittaa varren sisämittoja. Varsien merkittävä kaventaminen, esimerkiksi siirtämällä sylinterit varsien ulkopuolelle, aiheuttaisi liikaa kehityskustannuksia. Skiploaderin nostovarsien fysikaalinen ristiriita on: **Nostovarret pitää olla lavan nostamista varten, mutta nostovarsia ei saa olla.**

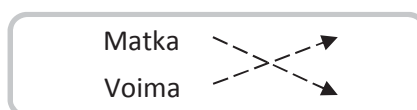
Nykyisten peitelaitteiden perusteella voidaan muotoilla tekninen ristiriita peitelaitteen peittokyvystä ja yksinkertaisuudesta. Peitelaitteen pitäisi olla yksinkertainen kustannusten takia, mutta yleensä monimutkaisemmilla laitteilla peittokyky on parempi (esimerkiksi Skip 9000 verrattuna Intacovaan). Parempi peittokyky merkitsee, että laitteella pystytään peittämään laajempi skaala erikokoisia lavoja ja laite asettuu paremmin skiploaderin muotoihin kaikissa asennoissa. **Peitelaitteen tulee olla yksinkertainen ja peittokyvyn hyvä** yhtä aikaa, mikä on nykyisillä laitteilla fysikaalinen ristiriita.

Monimutkaisuuteen ja monipuoliseen peittokykyyn ovat yhteydessä myös valmistuskustannukset. Esimerkiksi nivelöidyillä varsilla ja kahdella hydraulisylinteriparilla voidaan peittää laajasti erikokoisia lavoja, mutta laite on monimutkainen. Monimutkai-

suutta, kustannuksia ja käytön helppoutta lisäisi myös esimerkiksi anturointi, jolla tunnistetaan liikkeen vaihe. Anturien ja logiikkaohjauksen ansiosta käyttäjän ei tarvitsisi huolehtia laitteen pysäytyksestä. Monipuolisilla ominaisuuksilla varustettu laite on yleensä kallis, ja kustannusten tulee luonnollisesti olla pienet. Fysikaalinen ristiriita tässä liittyy rahan määrään. **Rahaa tulisi olla käytettävissä rajattomasti, mutta käytännön syistä sitä ei saisi kulua ollenkaan.** Toisaalta peitelaitteen paremmat ominaisuudet oikeuttavat asiakkaan näkökulmasta korkeamman myyntihinnan ja täten sallivat korkeammat valmistuskustannukset.

Peittämisen **nopeuden ja tehon välillä on ristiriita**. Peitelaitteen tulisi olla mahdollisimman nopea, mutta suurempi nopeus merkitsee myös toimilaitteelta vaadittavaa suurempaa tehoa, eli käytännössä suurempaa toimilaitetta ja suurempaa energiankulutusta. Tämä taas johtaa kasvaneisiin kustannuksiin. Laitteen suurempi nopeus auttaa kuljetta-
maan enemmän lavoja työpäivän aikana. Peitelaitte toimii vain lyhyen ajan kerrallaan, mutta tällöin tehon pitäisi olla suuri. Kärjistetysti esitettynä **tehoa tulee olla käytössä hetkellisesti paljon, mutta sen tulee syntyä tyhjästä.**

Yleisesti mekanismeihin pätee matkan ja voiman ristiriita. **Jos voimantarve vähe-
nee, joudutaan työtä tekemään pitempi matka, ja päinvastoin.** Tämä näkyy kuvassa 4.11. Voiman suurentumista tarvitaan esimerkiksi vipuvarren pienentyessä. Yleensä joudutaan tekemään kompromissi voiman ja matkan väliltä, esimerkiksi hydraulisylinterien kiinnityspisteitä suunniteltaessa.



Kuva 4.11. Voiman ja matkan ristiriita.

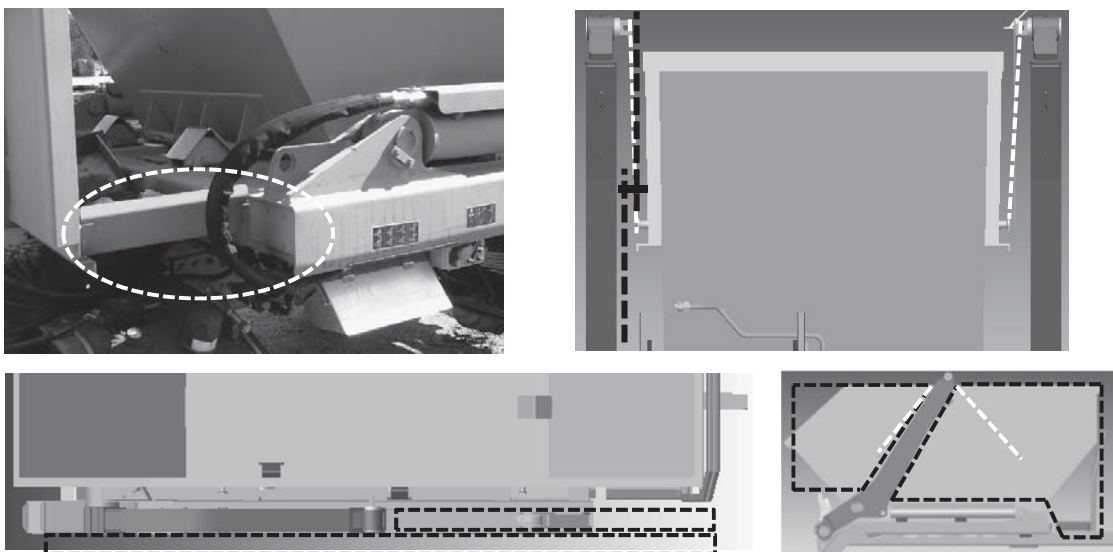
Ideaaliratkaisussa ei ole ristiriitoja eikä kompromisseja. Lisäksi ideaaliratkaisun toteutuksen kustannukset ovat mitättömät. Tarkasteltavan tuotteen ympäriltä löytyvillä resursseilla voidaan ratkaista ristiriitoja.

4.4.2 Resursseja

Peitelaitteen ja skiploaderin ympäriltä löytyvistä käyttämättömistä resursseista selvimmät ovat huomattavissa **erilaiset tilat** (kuva 4.12). Tiloja voidaan käyttää peitelaitteen komponenttien kiinnittämiseen tai liikkeiden toteuttamiseen. Kuvan 4.12 vasemmassa yläkulmassa näkyy tyhjä tila skiploaderin sivupalkin edessä. Kun käytetään alustan pidentystä, kuten tavallisesti, valkoisella katkoviivalla merkittyyn kohtaan ja sen yläpuolelle jää käyttämätöntä tilaa. Tässä kulkevat skiploaderin pääsylinderien letkut, mutta näiden pituutta tai reittiä voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Tähän kohtaan asennetaan toisinaan myös esimerkiksi muutaman askelman mittaisia tikkaita.

Kuvassa 4.12 oikealla ylhäällä on kuvattu skiploader edestä. Valkoisella katkoviivalla on merkitty kuormaketjujen likimääräinen sijainti ja mustalla katkoviivalla käytettävissä oleva kapea tila lavan ja nostovarsien välissä. Tilaa lavan ulkoreunan ja kuorma-

ketjujen nostovarren kiinnityspisteen välillä on välyksineen noin 40 mm. Kuormaketjut on merkitty valkoisella katkoviivalla myös oikean alareunan kuvaan.



Kuva 4.12. Käytettävissä olevia ylimääräisiä tiloja.

Peitelaitteen osat voisivat periaatteessa tukeutua ketjuihin peittoliikkeen jossakin vaiheessa, mutta haasteena on ketjujen pituuden ja kireyden vaihtelu. Kuljettaja voi esimerkiksi ajaa skiploaderin teleskooppeja ulos sen verran, että ketjut kiristyvät ja lava pysyy tukevammin paikallaan ajon aikana. Skiploaderin ja lavan yläpuolella on käyttämätöntä tilaa maksimikorkeusrajoitukseen asti. Resursseja ovat myös lavan reunat ja sisältö, joihin voi tukeutua, mutta käytännössä tämä on haasteellista kuormien epämääräisen muodon takia.

Kuvan 4.12 vasemmassa alareunassa on kuva puolikkaasta skiploaderista ylhäältä kuvattuna. Skiploaderin sivuille jää tilaa vaatimusmäärittelyn mukaisesti 50 mm per puoli. Mikäli nostovarsia onnistutaan kaventamaan tai siirtämään lähemmäs toisiaan, tämä tila kasvaa. Alemmista kuvista näkyvät lisäksi tyhjät tilat nostovarsien edessä ja takana. Tiloja voidaan hyödyntää, mikäli tästä ei aiheudu estettä tai haittaa skiploaderin päällä kulkemiselle ja toimimiselle. Lavan ja ohjaamonsuojan välissä näyttää kuvan perusteella olevan paljon ylimääräistä tilaa. Kuitenkin toisinaan voidaan joutua kuljettamaan erikoislavoja, joiden etureuna on pystysuora. Tällöin lavan kohdalla edessä tilaa on korkeintaan lavan tukien koon verran.

Muita **skiploaderiin ja kuorma-autoon liittyviä resursseja** ovat esimerkiksi hydraulikka, paineilma ja sähkö. Peitelaitteessa voidaan hyödyntää kuorma-auton paineilmajärjestelmää tai skiploaderin kanssa samaa hydraulijärjestelmää. Tällöin tarvittaisiin muun muassa muutamia lisäventtiileitä sekä letkua ja putkea. Sähköä saadaan auton sähköjärjestelmästä, jonka jännite raskaissa ajoneuvoissa on yleensä 24 V. Käyttöenergiaa on periaatteessa saatavissa myös auton polttoainejärjestelmästä.

Peitelaitetta ympäröivistä resursseista yksi tarjolla oleva on **painovoima**. Vaikka painovoimaa vastaan joudutaan joissakin vaiheissa tekemään työtä, toisissa vaiheissa

sitä voidaan käyttää liikkeiden toteuttamiseen tai komponenttien paikallaan pitämiseen. **Liike-energiasta** voi olla apua esimerkiksi liikkeen loppuun saattamiseen, kun alkuvauhtia on tarpeeksi. **Potentiaalienergiaa** voidaan varastoida esimerkiksi paineakkuihin tai jousiin. Auton tapauksessa yhtenä resurssina on **ilmavirta**, joka syntyy liikkeessä. Ilmavirtaa voitaisiin käyttää esimerkiksi peitteen avaamiseen tai peitteen aloillaan pitämiseen, vastaavasti kuin kilpa-autojen siivekkeillä saadaan aikaan maata kohti vaikuttava voima. Myös fysikaalisia ilmiöitä voidaan käyttää hyväksi. Esimerkiksi **magnetismia** voidaan käyttää mekaanisen lukituksen sijasta.

Lisäksi resurssina voidaan pitää **olemassa olevaa tietoa** sekä jo kehitettyjä laitteita ja osaratkaisuja. Esimerkiksi kilpailija-analyysillä ja patenteja tutkimalla voidaan löytää käyttökelpoisia piirteitä ja ratkaisuja, jotka ovat sovellettavissa omaan suunnittelutyöhön.

4.4.3 Luovista periaatteesta vinkkejä käytännön ratkaisuun

Liitteestä 2 löytyviä luovia periaatteita voidaan soveltaa etsittäessä käytännön ratkaisua. Periaate numero 1 ehdottaa kohteen jakamista, mikä peitelaitteen tapauksessa voisi tarkoittaa esimerkiksi kahden erillisen peiterullan käyttämistä tavallisen yhden sijaan. Periaate 2, osan erottaminen, voisi toteuta esimerkiksi raskaan komponentin, kuten suuren vääntöjousen, siirtämisessä liikkuvasta osasta ei-liikkuvaan. Epäsymmetrisyyden periaate (periaate 4) voisi toteutua esimerkiksi käyttämällä peitteen avausvartta vain toisella puolella, kuten eräässä markkinoilla olevassa suuren lavan peitelaitteessa. Universaalisuusperiaatteen (periaate 6) mukaisesti peite voisi toimia sopivasti muotoiltuna yhtä aikaa kuorman suojana ja auton ilmanvastuksen parantajana.

Periaate numero 7 ohjaa sijoittamaan kohteet sisäkkäin. Esimerkiksi teleskooppiset varret noudattavat tätä periaatetta, kuten myös letkujen tai johtojen sijoittaminen suojaan rakenteiden sisään. Myös peitteen rullaaminen on tämän periaatteen mukaista. Vastapaino tai nosteen käyttäminen, periaate 8, voisi peitelaitteessa tarkoittaa esimerkiksi vastapainon liittämistä avausvarsien toiseen päähän kompensoimaan rullan painoa. Toisaalta massan lisääminen tällä tavalla todennäköisesti vähentää ideaalisuutta. Nostetta voitaisiin käyttää esimerkiksi peitteen ”leijuttamiseen” jonkinlaisen puhaltimen tai nostavan roottorin avulla paikalleen lavan päälle. Toisiaan hylkiviä magneetteja voitaisiin käyttää peitteen kitkattomaan levittämiseen. Periaate 9 ohjaa tekemään vastavaikutuksen etukäteen. Esimerkiksi, kun tarkoituksena on suunnitella vaakasuora puomi, tehdään se hieman ylöspäin taipuneeksi, jolloin painovoima painaa puomin vaakasuoraan.

Turvatyyny-periaatteen mukaisesti voidaan toteuttaa jokin halpa osa siten, että vika tilanteessa se hajoaa hallitusti, säästäten arvokkaammat osat. Periaate 12, tasapotentiaali, ohjaa minimoimaan työtä kenttää vastaan. Peitelaitteessa voidaan käyttää muun muassa jousiin tai paineakkuun kerääntynyttä potentiaalienergiaa painovoimaa vastaan. Periaate 13 neuvoo tekemään asiat päinvastoin. Nykyään peite liikkuu ja auto on paikallaan, mutta toisaalta myös auto voisi liikkua ja peite avautua, esimerkiksi ilmavirran mukana. Pallot ja käyrät -periaatteen mukaan kannattaa esimerkiksi muuttaa lineaarinen liike kaarevaksi sekä suosia pyöristettyjä muotoja paremman lujuuden takia. Dynamisointi,

periaate 15, kehottaa tekemään systeemin ominaisuuksista muuttuvia ja staattisista objekteista liikkuvia. Peiterullan liikkuminen avausvarsien mukana toteuttaa tätä periaatetta, verrattuna kiinteästi skiploaderin etuosaan asennettuun rullaan.

Periaatteen 22 mukaan haitta kannattaa kääntää hyödyksi. Esimerkiksi liikkuvan peiterullan omaa painoa kannattaa käyttää hyväksi liikkeiden alku- ja loppupäissä. Skiploaderin nostovarret ovat lähtökohtaisesti peitelaitteen tiellä, mutta niitä voidaan käyttää tukipisteinä. Kuormaketjut voidaan nähdä esteenä, mutta toisaalta peitelaitte voisi myös tukeutua niihin. Välittäjä-periaatetta (periaate 24) voidaan soveltaa esimerkiksi käyttämällä vaijeria voiman välityksessä, mikä sallii voimanlähteen ja liikuteltavan mekanismin vapaamman sijoittelun. Periaate 27 neuvoo käyttämään halpoja ja lyhytikäisiä komponentteja korvaamaan kalliita. Peite voisi olla ohut kalvo (periaate 30), kuten esimerkiksi edellä mainittu kutistemuovi tai ruiskutettava peite. Periaatteen 29 mukaisesti joissakin peitelaitteissa käytetään hydraulikkaa mekanismien liikuttelussa. Viimeinen periaatteista ohjaa komposiittien hyödyntämiseen. Esimerkiksi käyttämällä sopivaa komposiittimateriaalia, nykyisessä peitelaitteissa voidaan saavuttaa painonsäästöä.

4.4.4 Peitelaitte ja kehityslait

Kehityksen epätasaisuuden mukaan kehitys synnyttää ohessaan epäkohtia, jotka aina seuraavassa kehitysvaiheessa yritetään poistaa. Esimerkiksi nykyisenkaltaisissa peitelaitteissa on joitakin tilankäyttöongelmia, joita tässä yritetään ratkaista. Joissakin laitteissa on turhaa monimutkaisuutta, jonka poistaminen on myös tässä työssä tavoitteena.

Integroituminen ylemmän tason systeemiin voi tarkoittaa muun muassa peitelaitteen ja skiploaderin yhdistymistä. Tarkasteltaessa nivelöidyillä varsilla varustettuja peitelaitteita, huomataan, että toiset on integroitu paremmin skiploaderiin kuin toiset. Esimerkiksi Boughton Intacova näyttää selvästi skiploaderin kanssa yhtenäiseltä laitteelta, kun Shur-Co Xcalibur on erillisen lisälaitteen näköinen. Seuraavassa kehitysvaiheessa mahdollisesti lavan peittämistä ei edes tarvitse tarkastella erillisenä tapahtumana, vaan lavan peittäminen ja kuljettaminen tapahtuvat samanaikaisesti. Esimerkiksi lavat voitaisiin kuljettaa umpinaisen kuormatilan sisällä tai suojaavan rakenteen alla.

Siirtyminen mikrotasolle tai systeemin jakaminen voi johtaa tarkastelupisteen siirtämiseen lähemmäs kuormaa, sillä lavan peittäminen ei ole peitelaitteen päätehtävä, vaan kuorman turvallinen kuljettaminen. Esimerkiksi kuorma voitaisiin sitoa jollakin biohajoavalla aineella, joka liittää kuorman partikkelit yhteen kuljetuksen ajaksi.

Laajentumisen ja supistumisen kierre on nähtävissä peitelaitteiden kehityksessä. Oletettavasti aluksi oli pelkkä käsin levitettävä ja kerättävä peite, jonka jälkeen peitteen säilytykseen alettiin käyttää rullaa. Rullalta peite on helpompi vetää kuorman päälle verrattuna irtopeitteeseen. Rullan korkeussäätö on lisätty, jotta peite ei takertuisi kuormaan levittämisen aikana. Peitelaitte on laajentunut edelleen, kun systeemiin on lisätty avausmekanismi. Koska peitelaitte on jo melko monimutkainen kokonaisuus, kehityssuunta tulisi todennäköisesti vaihtaa supistumiseen. Jos peitelaitteen systeemi kuitenkin laajenee, luultavasti seuraavaksi lisätään peitelaitteen automaattisuuden astetta, esimerkiksi antureilla ja logiikkaohjauksella.

5 ENSIMMÄINEN KONSEPTIEN KEHITYSKIERROS

Tässä luvussa esitellään kehitetyt konseptit. Aluksi kerrotaan työn alkuvaiheen peitelaitetekonsepti-ideoista, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin 12 varsinaiseen konseptiin. Tämän jälkeen tarkastellaan komponenttivaihtoehtoja, jotka voisivat sopia konseptien toteuttamiseen käytännössä. Luvun lopussa tehdään konseptien ensimmäinen karsinta, jonka jälkeen seuraavaan jatkokehitysvaiheeseen tulisi jatkaa 1–3 konseptivaihtoehtoa.

5.1 Alkuvaiheen konsepti-ideoita

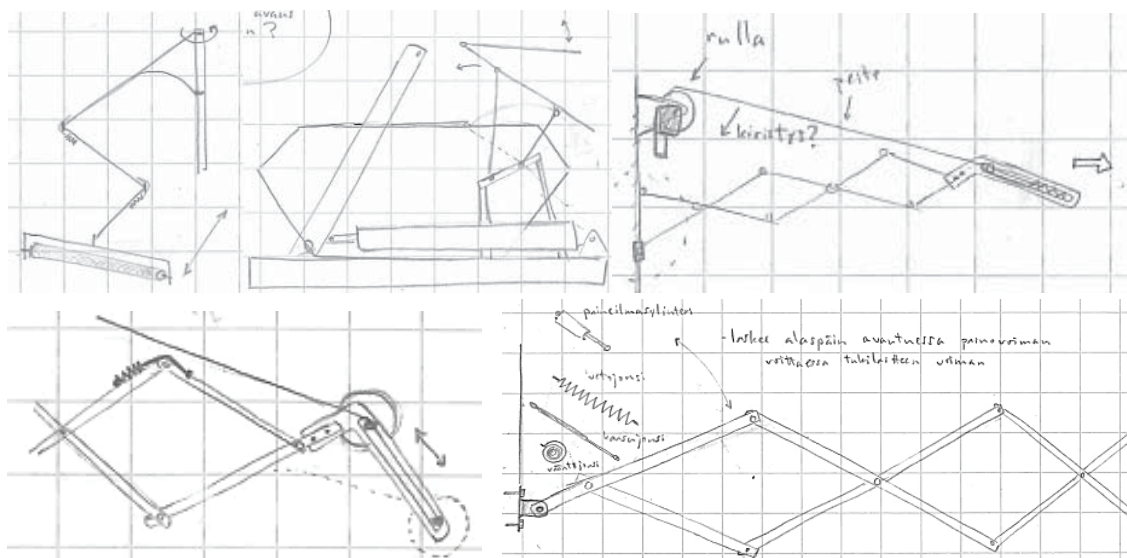
Omiin konseptivaihtoehtoihin on saatu ideoita muun muassa tarkastelluista patenttijulkaisuista, olemassa olevista peitelaitteista, TRIZistä sekä muista edellä mainituista ideälähteistä. Konseptiratkaisuja on rakennettu esimerkiksi yhdistelemällä eri tavoin keksittyjä tai löydettyjä osa-ratkaisuja, mutta muodollista osaratkaisumatriisia ei muodostettu. Tavoite oli kuorman lavalla pysymisen varmistaminen, joten perinteistä peitelaitetta ei olisi ollut pakko suunnitella.

Ennen tarkan vaatimusmäärittelyn laatimista syntyi ajatuksia konsepteista, joita työn edetessä ja vaatimusten selkiytyessä joko jatkokehitettiin, tai jotka hylättiin. Esimerkki erikoisemmasta ideasta on peite, joka avautuu ilmanpaineen avulla ja kelataan takaisin rullalle tai jossa tukirakenteet ovat ilmatäytteistä putkea. Ajatus tähän tuli muun muassa ilmapatjoista, muutamista patenttijulkaisuista sekä ilmaputkirakenteisista retkeilyteltoista. Tämä olisi kuitenkin vaatinut selvästi enemmän kehitysaikaa kuin työssä oli käytössä. Toinen erikoinen idea oli peitteen laukaiseminen ohjaamon takaa siten, että verkkomallinen peite avautuisi laukaisussa ja levittyisi lavan päälle.

Eräs alkuvaiheen ideoista oli ottaa tukea lavan reunoista, jolloin avausrakenteet olisivat voineet olla kevyemmät. Tämä osoittautui kuitenkin vaikeaksi toteuttaa epämääräisen muotoisten, mahdollisesti lavan reunat ylittävien kuormien takia. Jos kuormat olisivat melko tasaisia, voisi peitelaitte ottaa tukea myös itse kuormasta. Lisäksi kuormaketjuihin olisi periaatteessa voinut tukeutua, mutta ajon aika ketjut tulisi ohjeistuksen mukaan kiristää teleskooppeja ulos ajamalla (esimerkiksi VDI 2700 17). Ketjujen kiristäminen lisäksi heikentää mahdollisuuksia sovittaa peitelaiteratkaisuja lavan ja nostovarsien väliseen tilaan. Mikäli lava lukitaan muulla keinoin tukevasti skiploaderin alustaan, ei ketjujen kiristämiselle ole tarvetta, jolloin mahdollisuuksia on enemmän.

Alussa joitakin konsepti-ideoita hahmoteltiin piirtämällä luonnoksia käsin, minkä tuloksista näkyy muutamia kuvassa 5.1. Muun muassa vanhan Multilift Easycover -laitteen perustalta moniin ideoihin sisältyi saksimekanismi. Alun oletuksena oli, että

saksimekanismille on tilaa lavan yläpuolella, mutta näin ei lopulta ollut. Kuvan saksimekanismin avaus toimii samalla periaatteella kuin tavallisessa aurinkovarjomarkkiisissa. Kuvan 5.1 vasemmassa alareunassa näkyy yksi hahmotelma lavan takaosan peittämiseen. Kun saksimekanismi on avautunut kokonaan, peitettä päästetään rullalta vielä lisää, jolloin rulla painuu johdetta pitkin alas.

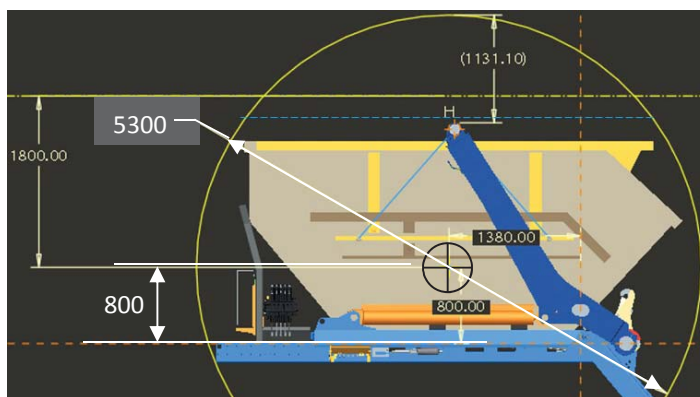


Kuva 5.1. Alkuvaiheen konseptihahmotelmia.

Kuvan 5.1 vasemmassa yläreunassa on periaatetason piirros laitteesta, jossa on yksi taittava varsi, joka kuljettaa rullaa skiploaderin nostovarsien välissä. Ylhäällä keskellä oleva hahmotelma perustuu nivelnelikulmioon, jonkaalaista käytetään esimerkiksi jäteastioiden kansissa. Kun alussa suurimpien peitettävien lavojen kokoa tai muita rajoituksia ei vielä ollut tiedossa, ratkaisuvaihtoehtojen ideointi oli vapaampaa. Monet alun ideoista osoittautuivat jo ennen muodollista arviointia toimimattomiksi, koska tarkemman vaatimusmäärittelyn myötä esimerkiksi huomattiin, että tilaa peitelaitteelle oli käytettävissä oletettua vähemmän.

5.2 Peitelaitekonseptien yhteisiä piirteitä

Seuraavan luvun aliluvuissa esiteltävissä konseptivaihtoehtoissa on joitakin yhteisiä piirteitä. Kuvassa 5.2 näkyy kohta, johon peitettä avaavan kiinteän varren nivelpiste kannattaisi sijoittaa, jotta peitteen liikerata kulkisi mahdollisimman läheltä lavan etu- ja takakulmia. Esimerkiksi Transcover VCover ja Hyva Automatic Sheeting System -laitteissa varren nivelpiste on sijoitettu likimain näin. Kuvan geometrialla varsi nousisi noin 1130 mm skiploaderin ylimmän kohdan yläpuolelle. Kun varsi muodostuu kahdesta osasta kuten esimerkiksi Boughton Intacovassa, voidaan peitettä kuljettaa lavan yläpuolella lähempänä lavaa ja päänivelpiste sijoittaa alemmas.



Kuva 5.2. Peitteen liikerata ja nivelpiste.

Jos peitelaitteessa käytetään peiterullaa, on skiploaderin epämääräisten kuormien tapauksessa järkevämpää liikuttaa rullaa kuin vetää peitettä kuorman yli kiinteästi asennetulta rullalta. Näin vältetään peitteen hankautuminen ja pienennetään rikkoutumisen mahdollisuutta. Jos rullassa on korkeussäätö, kuten joissakin peitelaitteissa, peitteen kontakti kuormaan on epätodennäköisempi, mutta korkeussäätö monimutkaistaa systeemiä tarpeettomasti. Yksi vaihtoehto olisi sijoittaa rulla alas skiploaderin etuosaan ja tehdä erillinen korkeussäädettävä ohjuri, jonka kautta peite kulkee (idea toimeksiantajayrityksen työntekijältä). Kuitenkin tämäkin on monimutkainen ratkaisu verrattuna rullan liikuttamiseen.

Jos peitettä avaava mekanismi on jännityksessä johonkin suuntaan, on otettava huomioon peitteen yllättävä repeäminen. On huolehdittava siitä, että avausmekanismi ei pääse iskemään hallitsemattomasti tai vaarallisesti, esimerkiksi käyttäjään tai herkkiin komponentteihin. Jos peite hajoaa tai se halutaan vaihtaa toisenlaiseen, on peitteen vaihtamisen oltava helppoa ja nopeaa. Peitelaitemarkkinoilla on ratkaisuja, joissa peitteen reunan sisällä on ohut putki, joka liu'utetaan rullaputken pitkittäiseen uraan. Tämä on yksinkertainen ja käyttökelpoinen ratkaisu.

Monissa konseptiratkaisuissa painovoima paitsi vastustaa liikkeitä, myös auttaa joissakin vaiheissa. Esimerkiksi peitettä avattaessa painovoima vetää rullaa takana alaspäin ilman muun ulkoisen voiman vaikutusta.

Yhtenä yhteisenä tavoitteena kehitettävälle konseptille on, että laitteen ohjaus tapahtuu vain yhden on/off -tyyppisen käyttöliittymän kautta. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi yhtä ohjattavaa toimilaitetta tai useampaa toimilaitetta varustettuna anturoinnilla ja ohjattuna logiikkaohjauksella. Logiikkaohjattu yhdellä kytkimellä toimiva peitelaitte olisi toiminnaltaan lähempänä automaattista kuin esimerkiksi kahdella vivulla ohjattava. Suunnitteluresurssien vähäisyyden takia tässä työssä pyritään ensisijaisesti kehittämään konseptiratkaisuja, joissa on vain yksi ohjattava toimilaite.

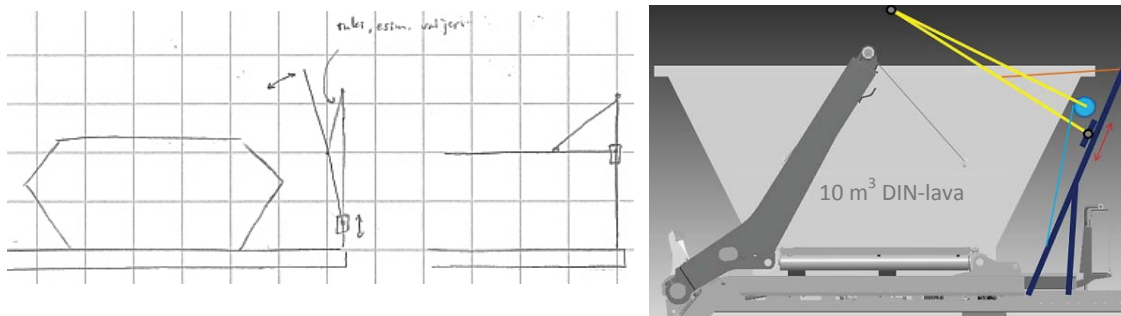
5.3 Konseptivaihtoehtojen esittely

Seuraaviin alilukuihin on kerätty tärkeimmät peitelaittekonseptit satunnaisessa järjestyksessä. Joistakin konseptivaihtoehdoista esitellään muutamia kehitysversioita, joista vali-

taan alustavasti karsintaan yksi. Selostuksista selviää, mikä on konseptiratkaisun perus-idea ja miten idea on syntynyt, sekä esitetään arvioita ratkaisusta. Jos konseptivaihtoehto on esitetty sivusta kuvattuna, oletetaan laitteen olevan symmetrinen ylhäältä katsoen, kuvitellun pituusakselin suhteen. **Kaikissa konseptivaihtoehtoissa A–L peiterulla on liikkuva.** Joissakin rullaa pyöritetään sähkömoottorilla, ja toisissa rulla liikkuu avausmekanismin mukana. Avausmekanismin mukana liikkuva rulla on jousijännitteinen.

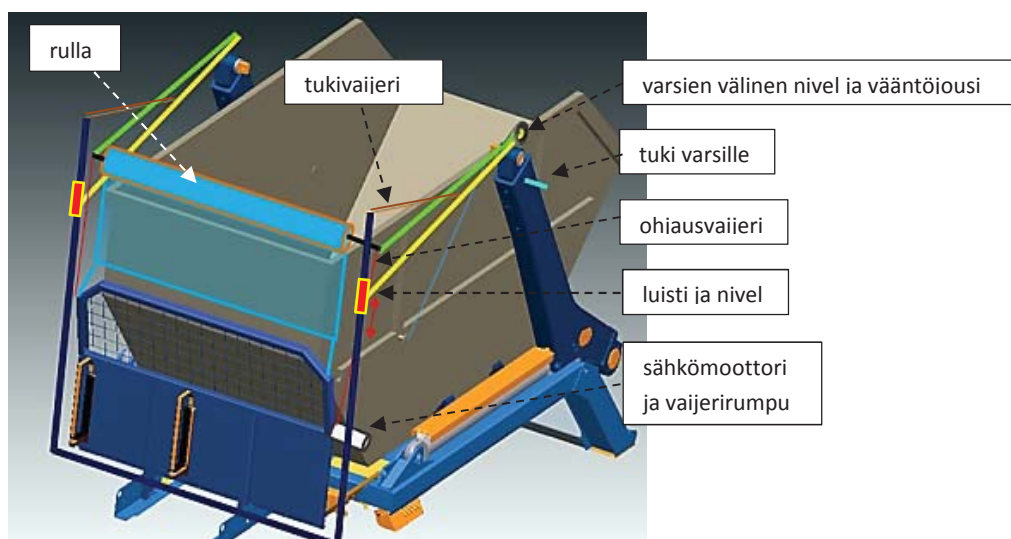
5.3.1 A

Kuvassa 5.3 on esitetty konseptivaihtoehdon A ensimmäisiä hahmotelmia. Kuvassa oikealla näkyvä lava on tilavuudeltaan 10 m^3 ja DIN-standardin mukainen. Tätä lavaa käytettiin CAD-mallissa ennen tarkempien vaatimusten selviämistä. Laitteen toiminta perustuu kummallakin puolella pystyssä tai lähes pystyssä olevaan johteeseen, tätä seuraavaan luistiin ja luistiin kiinnitettyyn varteen sekä tukivaijeriin. Varsi on paloista rakentunut ja jousijännitteinen peiterulla on kiinnitetty varsien päähän. Varret ovat kotiasemassa johteen suuntaiset, ja kun luistia liikutetaan ylöspäin, varret alkavat siirtyä kohti vaakatasoa tukivaijerin varassa. Koko mekanismi toimii lähtökohtaisesti skiploaderin nostovarsien ulkopuolella, mutta jos nostovarren ja lavan välissä olisi enemmän tilaa, kannattaisi mekanismi siirtää siihen. Peite on kiinnitetty skiploaderin etuosaan, esimerkiksi ohjaamonsuojaan. Yhtenä konseptin A etuna on peitelaitteen kaikkien komponenttien sijoittuminen skiploaderin etuosaan.



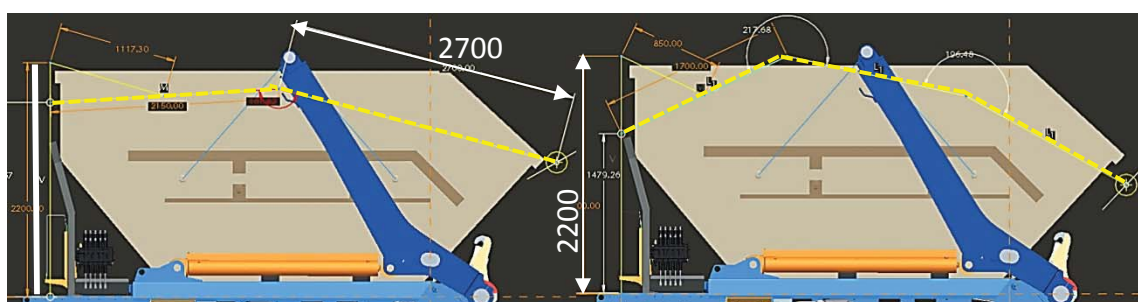
Kuva 5.3. Konseptivaihtoehdon A ensimmäisiä hahmotelmia.

Kuvassa 5.4 näkyy pidemmälle hahmoteltu konseptiratkaisu. Kuvassa skiploaderin kyydissä on 12 m^3 CHEM-standardin mukainen lava. Perusajatuksena on, että johteen luistia vedetään tai työnnetään ylöspäin esimerkiksi jonkinlaisella jousella. Rullan sisällä tai päässä tulee olla vääntäjousi, jotta peite kelautuu ja avautuu siististi. Liikettä kontrolloidaan sähkömoottorilla (kuvassa merkitty valkoisella) sekä tämän käyttämällä vaijerirummulla ja vaijerilla. Kuvassa punaisella merkitty vaijeri on kiinnitetty vihreällä merkityn varren päähän, kuten rullakin. Keltaisella merkitty varsi on kiinnitetty nivelen välityksellä luistiin, ja varret on myös kiinnitetty nivelellä toisiinsa. Varsien välissä on lisäksi vääntäjousi, joka pyrkii taittamaan vihreää vartta myötäpäivään skiploaderin vasemmalta sivulta katsottuna.



Kuva 5.4. Konseptivaihtoehdon A perusrakenne.

Jotta varsista ja varsien välisestä jousesta saataisiin kevytrakenteisemmat, ne kannattaa tukea peittämisliikkeen aikana skiploaderin nostovarsiin. Kuvassa 5.4 tuki näkyy turkoosilla merkittynä. Mahdollista olisi myös käyttää tukena nostovarren yläpäästä sellaisenaan, mutta tämä on vastoin peitelaitteen maksimikorkeusrajoitusta. Erillinen tuki voisi ulottua nostovarren etupuolelle, jolloin keltainen varsi voisi olla lyhyempi. Peittämisliikkeen alussa varret avautuvat ensin yhdessä, kun luistia päästetään ylöspäin. Kun keltainen varsi osuu peittoliikkeessä tukeen, alkaa vihreä varsi avautua jousivoimalla, kun vaijeria päästetään vaijerirummulta lisää. Rullan jousen voiman tulee olla suhteellisesti pienempi kuin varsien välisen vääntöjousen, jotta liike on mahdollinen. Vaijeri tarvitsee jonkinlainen ohjurin keltaiseen varteen, jotta vaijerivoimalla on vipuvartta vetää vihreä varsi takaisin. Tarkemmassa tarkastelussa selvisi, että 12 m³ lavan tapauksessa konseptin A geometria ei kuvan 5.4 kaltaisena ole mahdollinen. Kuvassa 5.5 näkyy geometria-tarkastelu, joka on tehty 2D piirroksena 3D CAD-kokoonpanon päälle.



Kuva 5.5. Konseptivaihtoehdon A geometriatarkastelu.

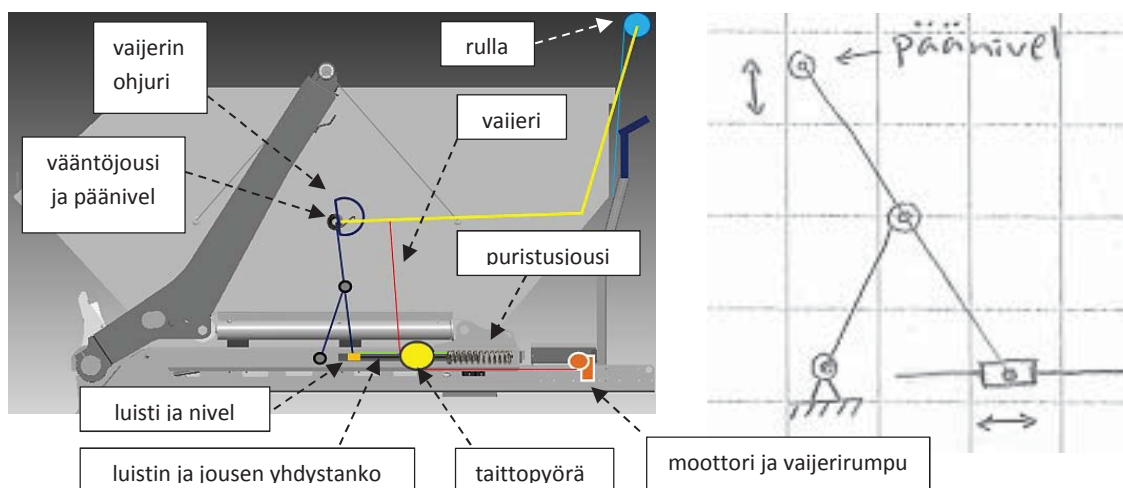
Perusongelma kuvan 5.5 vasemmanpuoleisella geometrialla on, että lavan taakse asti ulottuvat varret eivät mahdu kotiasemaan, vaan ylittävät skiploaderin nostovarsien ylimmän kohdan. Viimeisen varren osan pituus on noin 2700 mm ja pystyssä oleva johde on vain 2200 mm pitkä. Toinen varsi myös nousee loppuheilahduksessa skiploaderin

nostovarsien maksimiulottumaa ylemmäs. Varsien nivelten määrää voisi lisätä, mutta tämä monimutkaistaa systeemiä edelleen. Riittävän pienillä lavoilla konsepti toimii.

Monimutkaisuus on tämän konseptivaihtoehdon keskeinen ongelma. Komponentteja on paljon, mikä tarkoittaa yleensä esimerkiksi suurta suunnittelutyön määrää ja suuria kustannuksia. Toiminnan jaksojen toteutuminen ajatellusti on epävarmaa, johtuen muun muassa jousivoimien mitoituksista ja kitkoista. Tämänkaltaisen peitelaite veisi paljon tilaa skiploaderin etuosassa, mikä vaatisi muun muassa ohjaamonsuojan ja hydraulijysäiliön sijoituksen uudelleensuunnittelua. Jos varsien liikkeen hallinta tehdään edellä kuvatulla tavalla vaijerilla, tulee vaijerin olla noin 6 metriä pitkä, jolloin sen siisti kelaus vaatii erillisen vaijerin ohjurin rummun yhteyteen. Rummusta tulee myös suurikokoinen. Luistin liikuttaminen pystysuuntaisella ruuvilla olisi myös mahdollinen, mutta oletettavasti liian kallis ratkaisu. Eräs muutosvaihtoehto olisi poistaa vetovaijeri kokonaan ja asettaa sähkömoottori suoraan pyörittämään rullaa, mutta tässä sähkömoottorille ei luultavasti jäisi riittävästi tilaa. Konseptien vertailuun valitaan näin ollen kuvan 5.4 mukainen rakenne, jossa moottori ei liiku.

5.3.2 B

Konseptivaihtoehto B:ssä perusidea on siirtää kiinteän varren nivelpistettä ensisijaisesti pystysuunnassa. Peittämisiikkeen aikana päänivelpiste on yläasennossa, noin 800 mm skiploaderin sivupalkin yläpuolella. Kotiasemassa päänivel on skiploaderin sivupalkin tasalla. Kun päänivel on yläasennossa, toiminta vastaa esimerkiksi Transcover VCover-laitteen toimintaa. Nivelpisteen liikuttamisessa voidaan käyttää esimerkiksi suoravientimekanismeja tai saksimekanismeja. Kuvassa 5.6 on esitetty vaihtoehto, joka on toteutettu Scott Russell -suoravientimekanismilla.

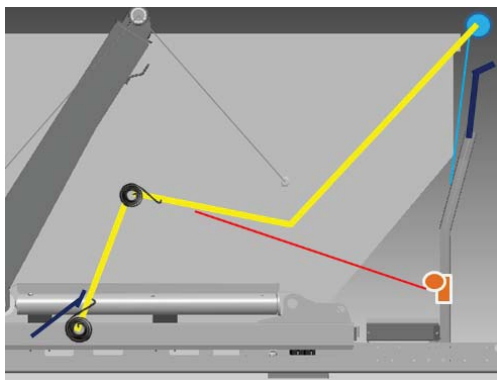


Kuva 5.6. Konseptivaihtoehto B suoravientimekanismilla.

Kuvassa 5.6 oikealla näkyy perusmekanismi ja vasemmalla yksityiskohtaisempi hahmotelma. Liikkeen hallinta tapahtuu sähkömoottorilla. Suoravientimekanismissa on luisti sekä tähän kiinnitetty jousi, joka pyrkii työntämään luistia taaksepäin, esi-

merkiksi yhdystangon välityksellä. Kun kuvan mekanismissa luisti liikkuu taaksepäin, päänivel nousee. Vaihtoehtoisesti jousi voisi olla luistin takana, jolloin tarvittaisiin vetojousi. Toisaalta myös koko suoravientimekanismi voisi olla toisin päin. Oranssilla merkitty sähkömoottori vaijerirumpuineen on kiinnitetty skiploaderin etuosaan. Vaijerirummulta kulkee vaijeri taittopyörän kautta keltaisella merkittyyn varteen. Jotta vaijerilla olisi vipuvartta vetää varsi loppuasennosta takaisin, on sillä oltava sopiva ohjuri. Vaijerin yhtenä etuna on, että voiman lähde sijoitettua kauemmas kohdasta, jossa voimaa tarvitaan. Vaijeri on yleisesti hankintahinnaltaan halpa, mutta toisaalta se vaatii huoltoa, esimerkiksi rasvausta.

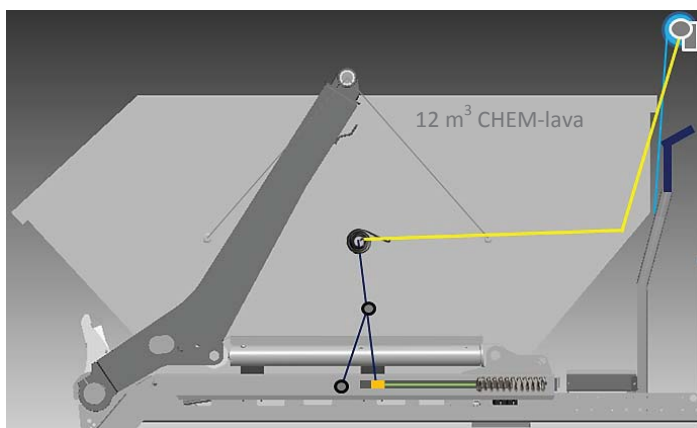
Kuvassa 5.7 näkyy toinen vaihtoehtoinen toteutus, jossa päänivelpiste siirtyy sivupalkin tasolta ylös kaarevaa rataa. Nivel nousee samaan kohtaan kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, mutta rakenne on tätä yksinkertaisempi. Molemmissa edellä esitetyissä vaihtoehdoissa päänivelessä on vääntöjousi, joka pyrkii kääntämään vartta kuvassa vastapäivään. Kuvan 5.7 hahmotelmassa vastapäivään kääntävä vääntöjousi on oltava lisäksi sivupalkin nivelessä.



Kuva 5.7. Toinen vaihtoehto, jossa nivelpiste siirtyy kaarevaa rataa pitkin ylös.

Molemmissa vaihtoehdoissa peittämisliike alkaa vaijeria rummulta päästettäessä, jolloin päänivel nousee ensin toimintapisteeseensä. Samalla rulla nousee kotiasemastaan lavan (12 m^3) etureunan lähelle. Tämän jälkeen varsi alkaa heilahtaa taakse. Nivelpiste jää ylös, kun peite on lavan päällä. Päänivelen jousen tulee olla toista joustu suhteellisesti vahvempi, jotta liikkeet tapahtuvat oikeassa sekvenssissä. Liike kotiasemaan päin tapahtuu käänteisessä järjestyksessä. Suoravientivaihtoehdossa kiertyvää vartta varten on oltava pysäytin, johon osumisen jälkeen päänivel alkaa laskea kohti kotiasemaa.

Edelleen yksinkertaistettu versio kahdesta edellisestä vaihtoehdosta on esitetty kuvassa 5.8. Kun vaijeri on kiinnitetty kuten edellä esitetyissä kehitysversioissa, joutuvat rullan jousi ja muut jouset tekemään turhaan työtä toisiaan vastaan. Ratkaisuna on sijoittaa sähkömoottori suoraan pyörittämään rullaa, jolloin rakenteesta tulee yksinkertaisempi. Ei tarvita esimerkiksi vaijeria, vaijerirumpua eikä rullan joustu. Tämä vaihtoehto tulee mukaan vertailuun edustamaan konseptia B.



Kuva 5.8. *Konseptivaihtoehdon B jatkokon etenevä versio.*

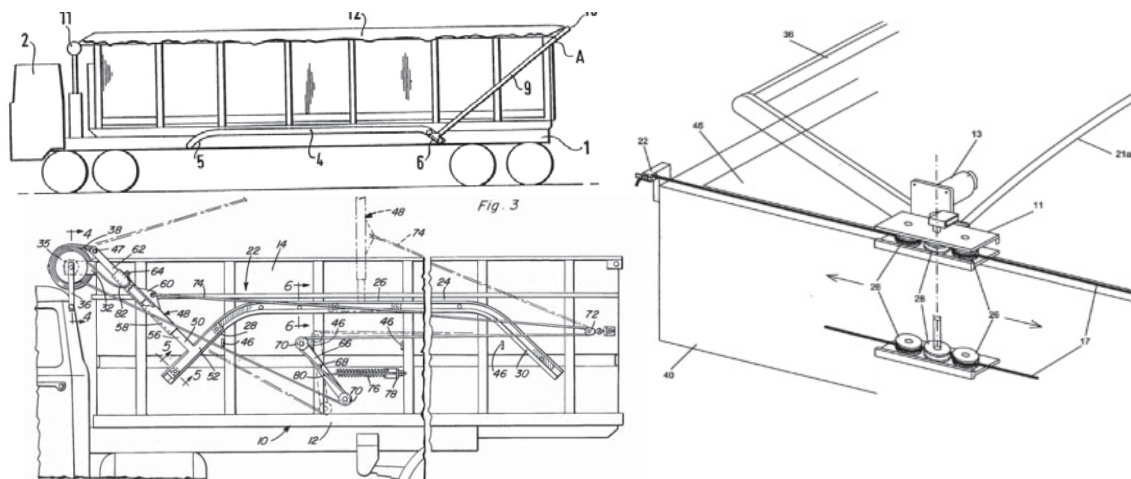
Peitelaiteratkaisuissa, jossa nivelpiste liikkuu pystysuunnassa (tai vaakasuunnassa) merkittävänä etuna on pienempi takaylitys verrattuna ratkaisuun, jossa kiinteä varsi on nivelöity sivupalkkiin. Toisaalta heilahdusliikkeen keskivaiheilla rulla nousee korkealle. Vaikka sähkömoottori rullan yhteydessä yksinkertaistaa systeemiä, on suunnittelutyön ja osien määrä silti suuri. Monimutkaisen rakenteen mahtuminen leveysrajoituksen sisään, nykyisenlaisen sivupalkin yhteyteen, on kyseenalaista. Myös riittävän voimakkaiden jousien sovittaminen rakenteeseen voi olla ongelmallista. Jos skiploaderin sivun rakenne voitaisiin suunnitella alusta asti uudestaan, voisi tämänkaltaisille mekanismeille järjestyä paremmin tilaa. Nykyisessä rakenteessa yksi mahdollinen sijoituspaikka johteelle on pääsylinterin alla, jossa pystysuunnassa tilaa on noin 50 mm. Sivupalkin alapuolellakin olisi periaatteessa tilaa, mutta yleensä tähän tilaan sijoittuu paljon kuorma-auton muita komponentteja, kuten säiliöitä, laatikoita sekä lokasuojat. Näin ollen sivupalkin alapuolinen tila ei ole käytettävissä.

Yleisesti jousitoimisissa heilahtavissa varsissa voidaan ottaa huomioon painovoiman avustava vaikutus. Esimerkiksi kuvan 5.8 konseptissa painovoiman apu kasvaa lopussa, kun jousivoima samalla heikkenee. Rullasysteemi vastustaa liikettä hyvin vähän, kun peitettä päästetään sähkömoottorilla. Toinen yleispätevä asia on tuen lisääminen vaakasuorassa olevan varren alle. Kun varsi on sivupalkin vieressä kotiasemassaan, sen päälle saatetaan astua, jolloin tuki estää varren liiallisen taipumisen.

5.3.3 C

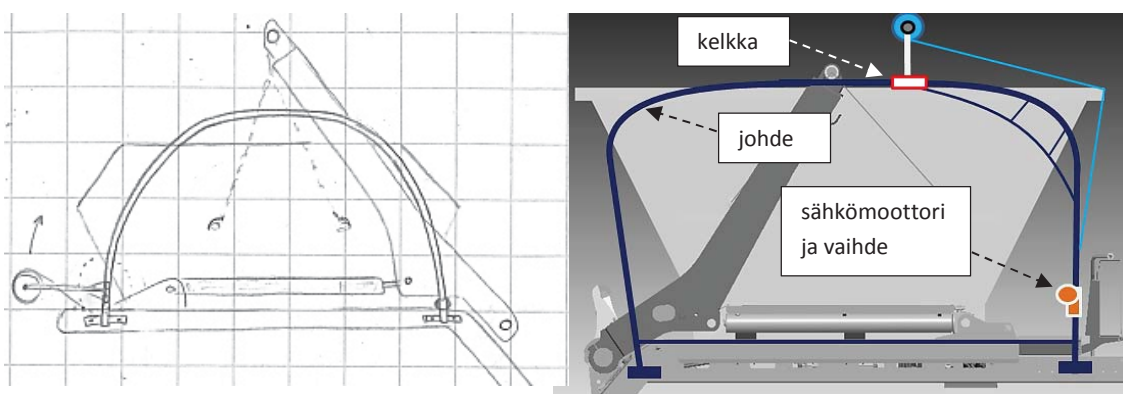
Konseptivaihtoehdon C idea on syntynyt muun muassa kuvassa 5.9 näkyvistä patenttijulkaisuista. Näiden patenttijulkaisujen peitelaitteet on tarkoitettu kiinteiden tai kippaavien lavojen yhteyteen asennettaviksi. Kuvassa vasemmalla ylhäällä on pitkän lavan peitelaitte, jossa tiettyä kiskoa pitkin kulkeva kelkka ja tähän kiinnitetty varsi vievät peitteen taakse (GB 22885819). Vasemmalla alhaalla on vastaavalla periaatteella toimiva laite, mutta lava on pienempi ja kelkan liikuttelumekanismi on kuvattu yksityiskohtaisemmin. Kelkkaa liikutetaan narulla tai vaijerilla, joka kiertää taittopyörien ja kiristimien kautta. Naru on kiinnitetty rummulle, joka pyörii yhdessä peiterullan kanssa. Kun peiterullaa pyöritetään kuvassa myötäpäivään naru alkaa vetää kelkkaa taakse, ja ta-

kaisinkelauksessa peite vetää kelkan mukanaan kotiasemaan. (US 4023857.) Kuvassa 5.9 oikealla on esitetty vaihtoehto peitettä kuljettavan kelkan liikutteluun. Kelkassa on kolme ketjupyörää, joista keskimmäinen on sähkömoottorivetoinen. Ketjupyörien kautta, lavan laittaa pitkin, kulkee hammasketju, jota pitkin kelkka liikkuu moottoria käytettäessä (US 2009322116).



Kuva 5.9. Konseptivaihtoehdon C perustana olevien patenttijulkaisujen laitteet (GB 2288581; US 4023857; US 2009322116).

Vaihtolavalaitteen ollessa kyseessä, lavaan ei voida asentaa kiinteästi mitään ylimääräistä mekanismia. Jos peitelaitteen johteet asennetaan suoraan skiploaderiin, saadaan edellä mainittujen patenttijulkaisujen mukaista laitetta sovellettua myös skiploaderikäyttöön. Kuvassa 5.10 on esitetty alkuvaiheen hahmotelmat konseptivaihtoehdosta B. Perusajatuksena on asentaa skiploaderin sivuun sopivasti muotoiltu johde, jota pitkin jousijännitteistä peiterullaa kuljettavaa kelkkaa liikutetaan.



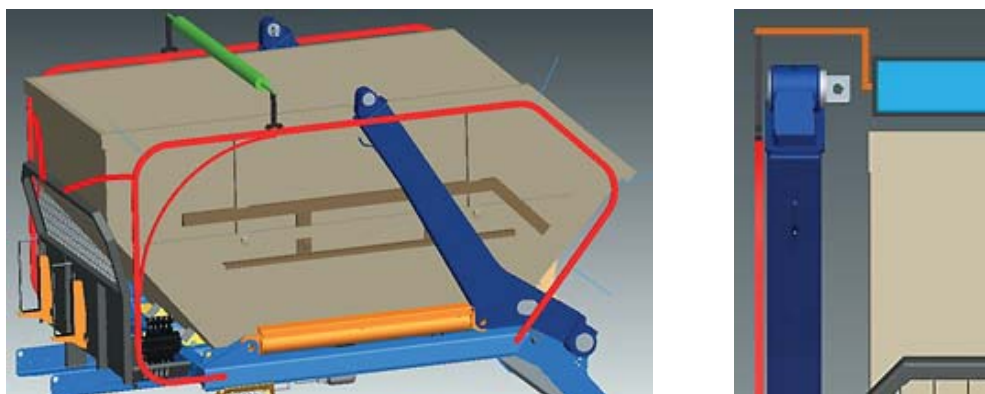
Kuva 5.10. Ensimmäisiä konseptivaihtoehdon B hahmotelmia.

Kelkkaa liikutetaan sähkömoottorilla, joka sijoitetaan kiinteästi johdonkin, esimerkiksi alas skiploaderin etuosaan. Sähkömoottorin voima välitettäisiin kelkkaan esimerkiksi vaijereilla, joita kelataan vaijerirummuille. Kelkan kumpaankin puoleen täytyy

kiinnittää vaijeri, jotta liike molempiin suuntiin on mahdollinen. Vaijeri voi kulkea esimerkiksi avoimen C-mallisen johdeprofiilin sisällä. Johde voisi olla myös pyöreää putkea, mutta tällöin vaijeria ei saada helposti seuraamaan johdetta. Toisaalta voidaan tehdä niin, että vaijerit kulkevat skiploaderin etu- ja takaosaan kiinnitettyjen taittopyörien kautta kelmalle, jolloin liikkeen alussa ja lopussa ne asettuisivat lähelle vaakatasoa. Tällöin kuitenkin vaijerivoiman suunta on suurimman osan liikkeestä epäedullinen. Vaijeri voisi olla myös yhtenäinen lenkki, jota kierretään muutama kierros vaijerirummulle riittävän kitkan aikaansaamiseksi (kuten laivojen kiinnitysköysien kiristyksessä).

Vaatimuslistan mukaisesti mitkään rakenteet eivät saa haitata skiploaderin päällä toimimista. Kiinteiden johdekaarien tapauksessa voidaan mahdollisesti kääntää haitta eduksi korostamalla sitä. Kaarista voidaan tehdä riittävän korkeat, jotta niiden ali pääsee kulkemaan. Korkeuden tulisi lisäksi olla sellainen, että keskivertokäyttäjä voi ottaa kaaresta tukea. Rakenteen tulee tällöin olla riittävän vankka. Johteet voisi tukea toisiinsa esimerkiksi skiploaderin nostovarsien etupuolelta, mutta tällöin rullan tulisi kulkea tuen alapuolella.

Kuvassa 5.11 näkyy vasemmalla konseptihahmotelma, joissa johteet on muotoiltu suurimman vaadittavan lavan mukaan. Johteiden korkein kohta jää skiploaderin nostovarren yläpäästä alemmas, jolloin rulla pitää nostaa lyhyiden varsien päähän. Johteisiin voidaan tarpeen mukaan lisätä tukirakenteita, esimerkiksi kuvassa näkyvät tuet ohjaamonsuojaan sekä pituussuunnassa tukeva kaari. Kuvassa oikealla on yksi ehdotus rullan kannattimien muotoilusta, joilla saadaan rulla kulkemaan lähempänä lavan yläreunaa.



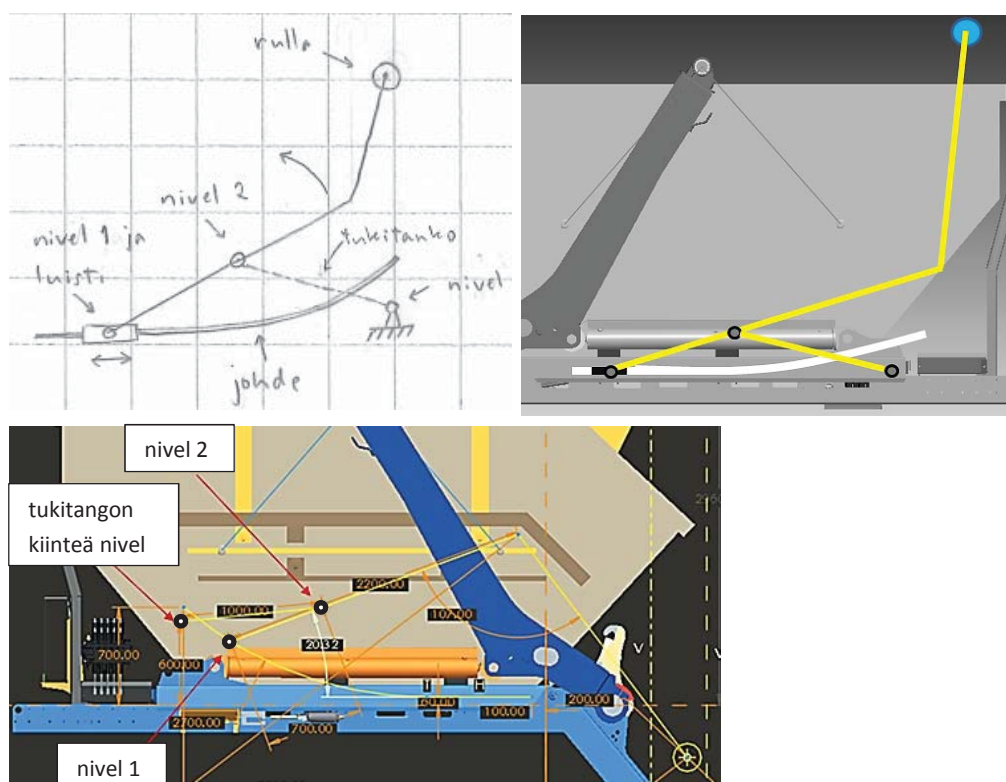
Kuva 5.11. 12 m^3 lavan mukaan muotoiltu peitelaitte ja rullankannattimien muotoilu.

Jos moottori pyörittäisi suoraan rullaa kuten esimerkiksi Skip 9000 -laitteessa, tulisi rullakokoonpanosta kevyempi, koska erillistä vääntöjousta rullassa ei tällöin tarvittaisi. Tällöin moottorilla kelattaisiin kelmä kotiasemaan ja liike toiseen suuntaan tulisi toteuttaa jollakin keinolla, esimerkiksi jousijännitteisellä vaijerirummulla. Vaijerin liikkeestä tulisi pitkä, joten siisti ja varmatoiminen kelaaminen vaatii tässäkin kelaamisen ohjaavan komponentin vaijerirummun yhteyteen. Peittoliikkeen loppuosassa painovoima riittänee painamaan rullan alas. Jos johteet tehdään taaksepäin sopivasti kalteviksi ja kitkat ovat pienet, voi painovoima riittää toteuttamaan suurimman osan peittoliikkeestä. Tässä toisaalta käyttöpaikan alustan kaltevuudet voivat vaikuttaa haitallisesti laitteen toimintaan.

Mikäli käytetään ketjuvetoa kelkan liikutteluun, kuten kuvan 5.9 oikeanpuoleisessa laitteessa (US 2009322116), on rullan oltava jousijännitteinen. Tällöin kuitenkin sähkömoottorilla hallitaan liikettä kumpaankin suuntaan ja vaijerit rumpuineen jäävät pois konstruktiosta. Konseptivaihtoehdosta C valitaan karsintaan versio, joka käyttää tällaista ketjuvetoa.

5.3.4 D

Hiabin Raision toimipaikassa pidettiin työn ideointivaiheen aikana muutamia peitelaitte-konseptien esittelyjä, joissa syntyi joitakin jatkoideoita. Edellä esitellyn konseptin B suoravientimekanismin perustuu kuvassa 5.12 näkyvä konseptivaihtoehto D. Siinä mekaniikan osat on käännetty siten, että luisti on suoraan kiinni varsinaisessa peitettä kuljettavassa varressa. Tämä oli toimeksiantajayrityksen erään työntekijän idea. Kirjoittajan toimesta tähän lisättiin vielä johteen kaarevuus parantamaan peiterullan liikerataa.



Kuva 5.12. Konseptivaihtoehto D.

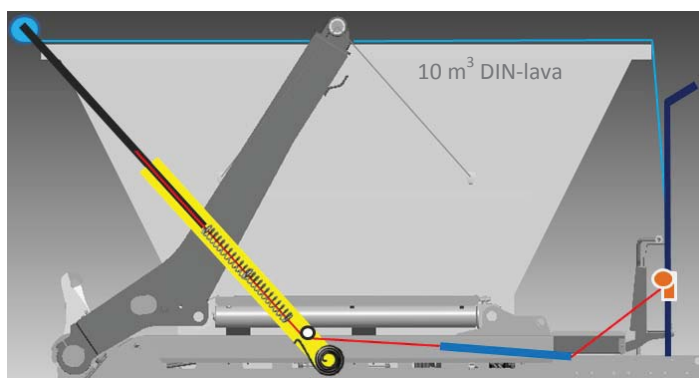
Konseptin geometrian toimivuutta tutkittiin 2D-piirroksen avulla CAD-ohjelmassa. Kuvassa 5.12 alhaalla näkyy konseptivaihtoehdon mitoitettu hahmotelma, jossa peiterullaa kuljettava varsi on likimain L-kirjaimen muotoinen. Kuvan tilanteessa rulla on takana alhaalla. Varsi on nivelellä 1 kiinnitetty kelkkaan, joka seuraa kaarevaa johdetta. Varressa on nivelellä 2 kiinni tukitanko, jonka toisen pään nivel on kiinnitetty sopivaan kohtaan johteen yläpään läheisyyteen. Liike aikaansaadaan liikuttamalla kelkkaa johdetta pitkin esimerkiksi ketjuvedolla siten, että johteen muotoa seuraavaa ketjua pyöritetään sähkömoottorilla.

Kuvan 5.12 geometriatarkastelussa näkyvällä ulommalla keltaisella katkoviivalla merkitään suurimman sallitun takaylityksen kohtaa, jota peitelaitteen osat eivät ajon aikana saa ylittää. Tavoitteena on, että kotiasemassa rulla asettuu lähelle 12 m^3 epäsymmetrisen lavan etuyläreunaa, mutta kuvan mitoilla rulla jää vaakatasossa noin 200 mm optimaalisen asemansa edelle. Mekanismin etuna on, että etäisyys nivelestä 1 peiterullaan voi olla pienempi kuin tilanteessa, jossa nivel 1 ei liiku. Varret voivat siis olla lyhyemmät, jolloin peiterulla kulkee liikkeen keskivaiheilla alempana, mutta ylettyy silti ohittamaan lavan kulmat.

Tässä konseptivaihtoehdossa yhtenä huonona puolena on suuri tilantarve skiploaderin sivussa. Kaareva johde asennettaisiin kohtaan, josta skiploaderin päälle voidaan kii- vetä. Etuna verrattuna konseptiin B on, että liike kumpaankin suuntaan tapahtuu sähkömoottorivetoisesti, ja ainoastaan rullaan tarvitaan jousi. Rakenne on kuitenkin moni- mutkainen, komponenttien määrä on suuri ja oletettavasti kaareva johde on kalliimpi kuin edellisen konseptin suora. Kun varsia liikutetaan nivelen 1 puoleisesta päästä, tulee voiman olla pidemmän vipuvarren takia suurempi kuin voiman, jonka itsevetävä peite- rulla kohdistaa peitteeseen. Tämä pätee myös muihin samankaltaisiin ratkaisuihin.

5.3.5 E

Kuva 5.13 esittää konseptivaihtoehtoa E, joka perustuu vaijerilla käytettävään tele- skooppiseen varteen. Vaijeria liikutetaan vaijerirummulla, jota pyöritetään skiploaderin etuosaan asennetulla sähkömoottorilla. Vaijeri kulkee sopivien ohjurien kautta ja vie- dään teleskoopin ulomman putken (kuvassa keltaisella) sisään putken alaosaan. Vaijerin toinen pää kiinnitetään sisempään putkeen. Putkia yhdistää puristusjousi, joka pyrkii painamaan teleskooppia auki. Lisäksi varren nivelessä on vääntöjousi, joka pyrkii kier- tämään vartta kuvan tarkastelusuunnassa vastapäivään. Lisäksi tarvitaan vääntöjousi rullan sisälle, joka kelaat peitteen takaisin.



Kuva 5.13. Konseptivaihtoehto E.

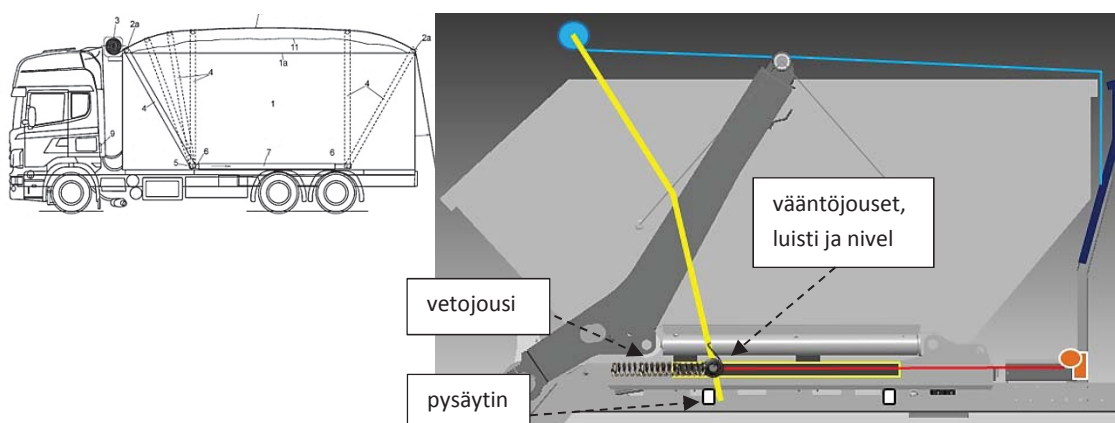
Rulla on kotiasemassa noin ohjaamonsuoja yläreunan tasalla. Kun vaijeria aletaan päästää, aukeaa teleskooppi ensin, minkä jälkeen varsi alkaa kääntyä vieden peitteen taakse. Teleskoopin jousen tulee paluuliikkeen takia olla suhteellisesti voimaltaan suu- rempi kuin nivelen vääntöjousen, ja ulomman putken kotiaseman tuelle tarvitaan luki-

tus. Lukitus voi esimerkiksi toimia mekaanisesti siten, että sisempi putki vapauttaa lukituksen osuessaan avautuessaan päätyasemaansa. Vaihtoehtoisesti lukitus voi olla esimerkiksi käyttäjän ohjaamalla sähkömagneetilla toimiva. Lukitus pitää Ulomman putken paikallaan kunnes teleskooppi on auki. Liikkeen lopussa varsi osuu takana pysäyttimeen, jossa myös tulee olla lukitus. Kun lukitus on aktivoitunut, voidaan vetää teleskooppi sisään ja rulla lähelle kippikoukkuja. Paluuliike tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä. Kun takatuen lukitus on vapautunut, vaijeri vetää varren takaisin eteen. Vahvemman jousen takia teleskooppi pysyy auki vaijeria vedettäessä eikä törmää kuormaan tai lavaan.

Konseptivaihtoehto E on monimutkainen ja sisältää paljon komponentteja. Esimerkiksi vaijeri pitää ohjata riittävän suurten taittopyörien kautta, mikä voi aiheuttaa ongelmia teleskoopin läpiviennin kohdalla. Vaijerin liike on tässä noin 2–3 metriä, joten vaijeria on kierrettävä noin 200 mm halkaisijaiselle vaijerirummulle noin 3–5 kierrosta. Tämä määrä on oletettavasti kelattavissa siististi ilman erillistä vaijerin kelausohjuria. Riittävän voimakkaiden jousien sovittaminen ahtaaseen tilaan voi tässäkin konseptivaihtoehdossa olla vaikeaa.

5.3.6 F

Konseptivaihtoehdon F idea perustuu muun muassa patenttijulkaisuun DE 102012102049. Patenttijulkaisun laitteessa peite avataan varsilla, jotka liikkuvat vaakatasossa ja liikkeen alussa ja lopussa kallistuvat. Kallistuksen takia johteen ei tarvitse olla koko lavan mittainen ja varret voivat olla vain hieman lavaa korkeammat. Kuvassa 5.14 näkyvässä konseptivaihtoehdossa F avaavat varret liikkuvat johteita pitkin skiploaderin sivuissa. Varret on nivelöity johteilla kulkeviin luisteihin.



Kuva 5.14. Konseptivaihtoehdon F perustana olevan patenttijulkaisun (DE 102012102049) laite ja konseptivaihtoehto F.

Varsien ja johteiden pituudet on suunniteltava, siten, että rulla asettuu lähtötilanteessa noin lavan etuyläreunan kohdalle ja lopussa kippikoukkujen viereen. Toisin kuin esikuvassaan, tässä rulla on asennettu varsien päähän. Varren edestakaiseen liikutteluun

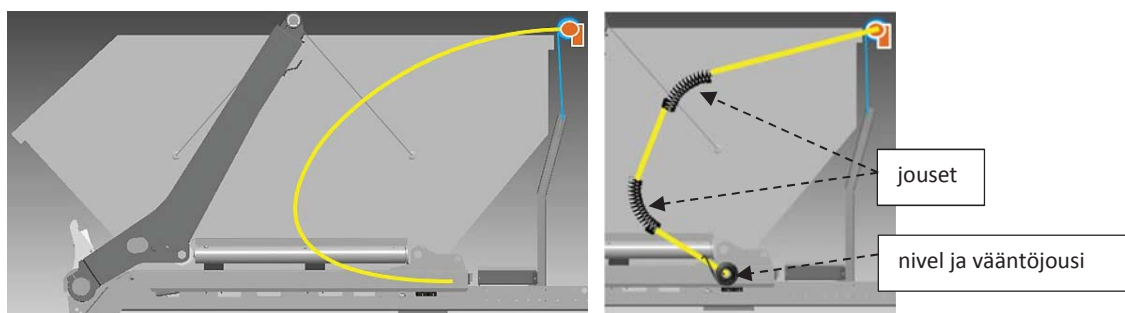
voidaan käyttää esimerkiksi pneumatiikka- tai hydraulisylinteriä, sähköistä lineaaritoimilaitetta tai hammasketjua. Kuvan ratkaisussa liike taaksepäin on jousivetoinen ja toiseen suuntaan vedetään sähkömoottorilla ja vaijerilla, mutta tämä tarkoittaa suurta komponenttien määrää. Rullan sisällä tulee olla jousi, joka riittää vetämään peitteen takaisin rullalle, mutta vastustaa avausliikettä mahdollisimman vähän.

Kummankin varren nivelessä on vääntäjouset, molempiin kiertosuuntaan omansa. Kun varren jatke osuu lineaariliikkeen alku- ja loppupäässä pysäyttimiin, varsi kallistuu eteen- tai taaksepäin. Jotta takaylitys saadaan asettumaan sallittuihin rajoihin, vedetään lopuksi varren nivelpiste lähelle johteen etupäätä. Varsi saadaan pysymään kallistettuna esimerkiksi sähkömagneettilukituksella. Johde sekä nivelpistettä liikuttavat komponentit kannattaisi sijoittaa sivupalkin sisään tai alle, mikä vaatisi skiploaderin rakenteen uudelleensuunnittelua.

Tämän konseptivaihtoehdon etuna on vähäisempi nivelten ja osien määrä verrattuna laitteeseen, jossa nivelpiste siirtyy pystysuunnassa. F on kuitenkin monimutkainen verrattuna esimerkiksi vaihtoehtoon C. Vaihtoehto F:n toiminta suunnitellusti on epävarmaa, ja muun muassa jousivoiminen riittävyys sekä jousien mahtuminen voivat aiheuttaa ongelmia. Jotta varsi ei ole esteenä skiploaderin päällä toimimiselle, on varsi muotoiltava sopivasti myötäilemään skiploaderin muotoa.

5.3.7 G

Kuvassa 5.15 näkyy kaksi eri versiota konseptivaihtoehdosta G. Vasemmanpuoleinen on ensimmäinen hahmotelma ja oikeanpuoleinen konkreettisempi versio. Alkuperäisenä ajatuksena on, että peitettä avaavat varret joustavat kuin ongen vapa. Joustavat varret on kiinnitetty jäykästi skiploaderin sivupalkkien etuosaan ja varsien päässä on peiterulla, sekä tätä pyörittävä moottori.



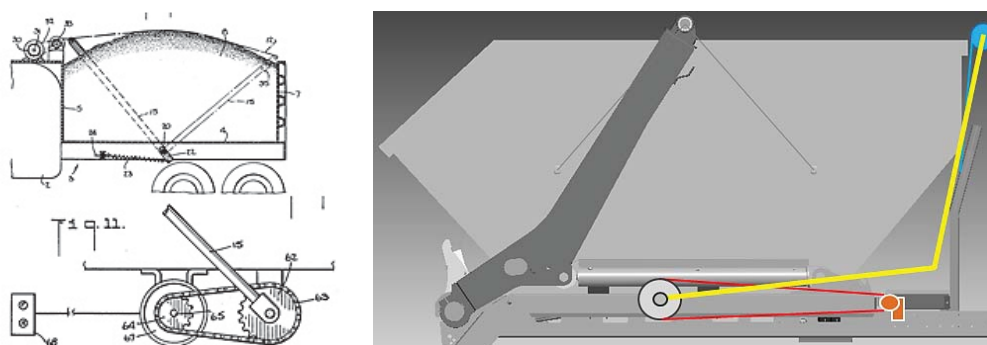
Kuva 5.15. Konseptivaihtoehdon G kehitysversiot.

Kun peitettä päästetään rullalta, vetävät jännittyneet varret peitteen lavan päälle. Kuvassa oikealla olevassa versiossa varsi muodostuu suorista paloista, joita yhdistävät veto- tai puristusjouset. Kuvassa jousia on kaksi, mutta tarpeen mukaan jousia voidaan lisätä ja niiden kokoa pienentää. Jouset toimivat kuin leikkipuistojen keinulaitteissa, joissa jousi palauttaa keinun keskiasentoon. Varren sivupalkin kiinnitysnivelessä on vastapäivään kiertävä vääntäjousi.

Tämä konseptivaihtoehto vaatisi paljon tutkimista ja suunnittelutyötä, esimerkiksi sopivan materiaalin löytämistä yhtenäiseksi joustavaksi varreksi ja laitteen toiminnan testausta. Varsinkin jos varret tehdään suorista paloista ja kierrejousista, on rakenteen resonointi otettava huomioon. Yleisesti kuorma-autoissa esiintyy eri taajuuksisia värähtelyjä, joiden kanssa jouset saattavat alkaa resonoida. Tämä voi johtaa esimerkiksi häiritseviin ääniin tai peitelaitteen rakenteiden väsymiseen. Jos sähkömoottori on vain toisella puolella, voi tämä vääntää rullaa vinoon. Mahdollisesti kummallekin puolelle voisi asentaa pienemmän sähkömoottorin. Mikäli konseptivaihtoehto saataisiin toimimaan yhtenäisillä joustavilla varsilla, tulisi laitteesta hyvin yksinkertainen. Koska varsi on kotiasemassa kuvan mukaisesti kaaren muotoon taipunut, se haittaa skiploaderin päällä toimimista.

5.3.8 H

Patenttijulkaisussa US 4082347 (kuva 5.16) on esitelty peitelaitte, jossa yksinkertainen nivelöity varsi vetää peitteen rullalta lavan päälle. Varsien liikuttelu tehdään sähkömoottorikäyttöisellä ketjuvaihteella, jonka välityssuhde on yli 1. Tämän laitteen ideaa on sovellettu suoraan kuvassa 5.16 oikealla näkyvään konseptivaihtoehtoon H.



Kuva 5.16. Kuva patenttijulkaisusta US 4082347 sekä konseptivaihtoehto H.

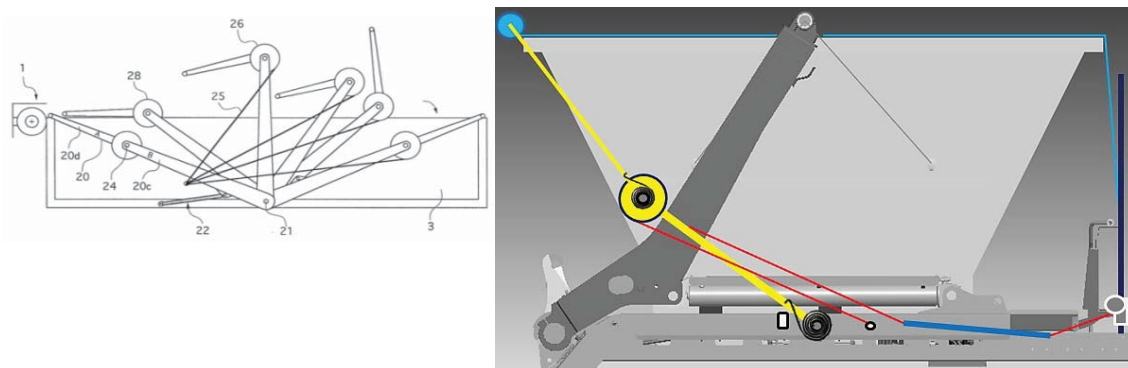
Konseptiratkaisussa on kummallakin puolella skiploaderin muotoihin sovitettuja jäykät varret, ja rulla on jousikuormitteinen. Varret on nivelöity sivupalkkeihin ja nivelen kanssa samankeskisesti ovat käytettävät ketjupyörät. Koska varret ovat kiinteät, on tinnittävä joko suurimpien lavojen peittokyvystä tai takaylityksen vähäisyydestä. Peiterullaa liikutetaan kumpaankin suuntaan sähkömoottorilla, joka voidaan sijoittaa esimerkiksi sivupalkin eteen, alustanpidennyksen viereen. Ketjuvaihteen välityssuhde voidaan valita sellaiseksi, että pienikin sähkömoottori kykenee liikuttamaan peiterullaa, mutta toisaalta välityssuhteen kasvaessa liikenopeus laskee. Jotta laitteesta tulisi viimeistellyn näköinen ja turvallinen, on ketjuveto peitettävä suojakuorella.

Tämän konseptivaihtoehdon etuna verrattuna vaijerikäyttöisiin laitteisiin on vaijerirummun, vaijerin ja vääntäjousien puuttuminen varsien liikuttelusta. Jos lavalla on ylikuormaa, johon peitelaitte voi törmätä, se törmää siihen todennäköisesti lavaa peittäessään. Konsepteissa, joissa peittämisliike tapahtuu jousien voimalla, ei törmäämisestä tule ongelmaa, sillä esteeseen osuttaessa liike yksinkertaisesti pysähtyy. Tässä konseptissa

myös peittämisliike tehdään sähkömoottorilla, joten laitteen käyttäjän on tarkkailtava toimintaa erityisen tarkasti tai laitteeseen on asennettava jonkinlainen suoja mekanismi, joka lopettaa vedon törmäystilanteessa. Konseptivaihtoehto H on periaatteessa yksinkertainen, mutta voi osoittautua tehonsiirtokomponenttien suunnittelun osalta työlääksi. Nykyisenlaisen skiploaderin sivuilla oleva ylimääräinen tila saattaa myös olla riittämättömän ketjuvälityksen komponenteille.

5.3.9 I

Konseptivaihtoehtoon I on saatu idea patenttijulkaisusta FR 2752787. Yksi siinä esitellyistä peitelaiteratkaisuista näkyy kuvassa 5.17 vasemmalla. Laitteessa on kaksiosainen nivelöity varsi ja peiterulla lavan edessä. Varren lyhyemmässä ylemmässä osassa nivelen kohdalla on kiinni ympyrämainen osa, jonka kehälle on kiinnitetty vaijeri tai naru. Osa antaa vaijerille vipuvartta varsien nivelen suhteen. Vaijerin toinen pää on kiinnitetty lavaan siten, että varren alemman osan taittuessa taaksepäin ylempi varren osa ojentuu. Kotiasemaan päin ajettaessa ylempi varsi ottaa kontaktin lavaan, jolloin varret asettuvat yhdensuuntaisesti, kuten peittoasennossakin. Etuna tässä laitteessa verrattuna kiinteällä, nivelöimättömällä varrella toimivaan peitelaitteeseen on pienempi tilantarve korkeussuunnassa. Vaijerin pituus on säädettävissä sellaiseksi, että ylempi varsi ojentuu vasta liikkeen loppuvaiheessa, joten peite kulkee läheltä lavaa.



Kuva 5.17. Kuva patenttijulkaisusta FR 2752787 ja konseptivaihtoehto I.

Kuvassa 5.17 oikealla on hahmotelma konseptivaihtoehdosta I. Varsiston päänivelessä on vääntöjousi, joka pyrkii kiertämään varsistoa vastapäivään, ja rullan sisällä on jousi, joka vetää rullaa kotiasemaan päin. Liikettä kontrolloidaan skiploaderin etuosaan kiinnitetyllä sähkömoottorilla, joka pyörittää vaijerirumpua. Liikutteluvaijerin toinen pää on kiinnitetty alempaan varteen. Ylempään varteen on kiinnitetty toinen vaijeri, joka toisesta päästä on kiinnitetty skiploaderin sivupalkkiin.

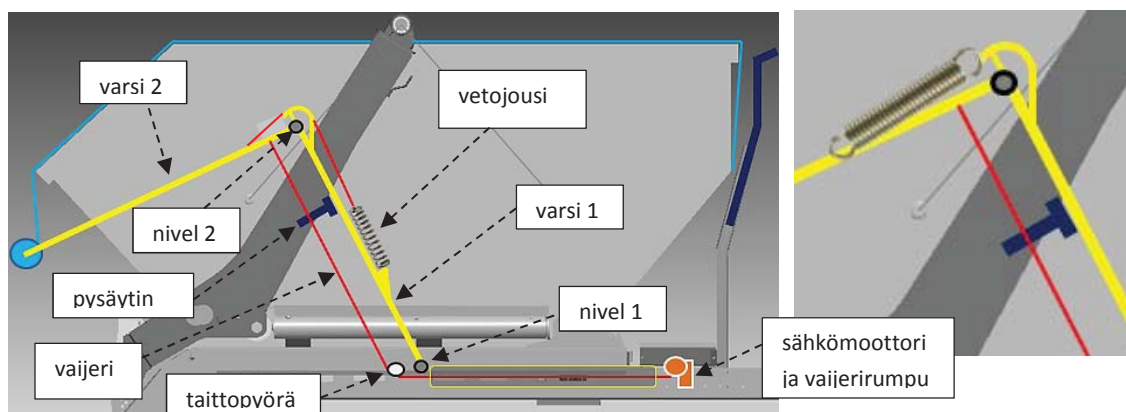
Tässä ratkaisuvaihtoehdossa ongelmana on, että epäsymmetrisen lavan takaosan peittäminen on vaikea toteuttaa, koska rulla ei luontevasti laske takana tarpeeksi alas. Kuvassa olevalle symmetriselle 10 m³ lavalle tämänkaltaisen laite soveltuisi hyvin. Tässäkin konseptissa riittävän voimakkaiden jousien sovittaminen skiploaderin sivupalkin ulkopuolelle ei välttämättä onnistu. Mikäli halutaan, että vaijeri ei jää kotiasemassa

häiritsevän ylös, tulee vaijeri ohjata kulkemaan sivupalkin lähellä (kuvassa sininen osa ohjaa vaijeria). Käytännössä vaijerin on kuljettava taittopyörien kautta, koska liikkuvaa vaijeria ei tule kuvan vastaisesti asentaa jyrkälle mutkalle. Konseptivaihtoehto I on monimutkainen ja vaatisi paljon käytännön testausta.

5.3.10 J

Konseptivaihtoehdon J perusajatuksena on, että peite avataan varsilla, jotka on nivelellä kiinnitetty skiploaderin sivupalkkiin. Kuvassa 5.18 on esitetty kuvia konseptin alkuvaiheen kehitysversiona. Varret koostuvat kahdesta osasta, jotka on sarananivelellä toisiinsa kiinnitetty. Sivupalkkiin nivelöityä osaa kutsutaan varreksi 1 ja toista osaa varreksi 2. Sivupalkin nivel nimetään niveleksi 1 ja varsien välinen niveleksi 2. Varsisto on kuin Shur-Co Xcalibur -laitteessa, mutta ohjattavia toimilaitteita on vain yksi.

Kuvassa 5.18 vasemmalla kuvassa olevassa konseptissa on lähtökohtana, että rullan sisällä on niin voimakas jousi, että se kykenee palauttamaan koko varsiston kotiasemaan. Lisäksi varren osien välisen nivelen ojentamiseen käytetään vetojousia (kuvassa). Vasemmanpuoleisessa versiossa vetojousen voima välitetään varresta 1 varteen 2 vaijerin avulla ja oikeanpuoleisessa jousi on suoraan kiinni kummassakin varren osassa. Tälle jousimekanismille jää enemmän tilaa, mikäli se ei joudu ohittamaan skiploaderin nostovartta. Vaihtoehtoisesti voitaisiin käyttää vääntöjousia nivelessä 2. Tämänkaltaisiin konseptilaitteisiin kannattaa asentaa suojalevyjä muun muassa turvallisuuden lisäämiseksi ja ulkomuodon siistimiseksi, esimerkiksi vaijerin suojaksi.

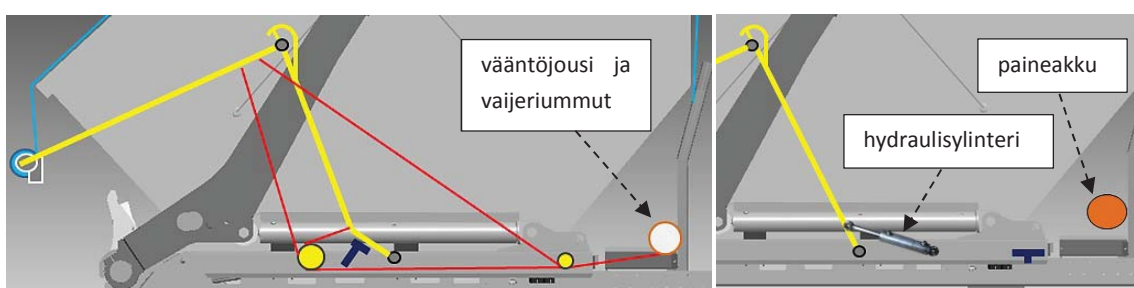


Kuva 5.18. Konseptivaihtoehdon J alkuvaiheen kehitysversiot.

Varsiston toimintaa hallitaan vaijerilla, joka kulkee taittopyörän kautta varteen 2. Vaijeria käytetään rumpua sähkömoottorilla pyörittäen. Jotta vaijeri saataisiin kelaamaan toistuvasti siististi, se tulee kerätä leveyssuunnassa vain yhteen kerrokseen, esimerkiksi pyöreän levyn uritetulle kehälle. Kun kotiasemasta lähdettäessä vaijeria aletaan kelata, varsisto kiertyy yhtenä pakettina taaksepäin, avaten peitettä. Sopivassa kohdassa varsi 1 osuu pysäyttimeen, joka kuvassa 5.18 on kiinni skiploaderin nostovarressa. Kun vaijeria edelleen kelataan, alkaa varsia ojentava jousi venyä, ja rulla painuu kohti skiploaderin pääakselia. Paluuliikkeessä varsien välinen jousi vetää varret tiettyyn liikerajoittimen määrittelemään kulmaan, jossa varsisto myötäilee skiploaderin etupään muo-

toa kotiasemassa. Jotta varsisto liikkuisi paluuliikkeessä oikeassa järjestyksessä, on varsien välisen jousen oltava suhteellisesti vahvempi kuin rullan jousen.

Kuvassa 5.19 näkyy konseptivaihtoehdon J kaksi myöhempää kehitysversiota. Vasemmalla on versio, jossa sähkömoottori ja jousi ovat vaihtaneet paikkaa verrattuna edellisiin kehitysversioihin. Koska jousi on todennäköisesti sähkömoottoria ja vaihdetta painavampi, sen kannattaa olla kiinnitettynä ei-liikkuvaan osaan. Esimerkiksi Multilift Easycover -laitteen rullakokoonpanon jousi on massaltaan noin 25 kg. Sähkömoottoriyksikkö on siirretty pyörittämään rullaa. Lieriömäiselle kierrevääntäjouselle on tilaa käytettävissä muun muassa ohjaamonsuojan ja alustanpidennyksen taitekohdassa. Jousen kiinnitetään akseli ja akselin päihin vaijerirummut. Kuvassa tummansinisellä värillä näkyvä varren 1 pysäytin on siirretty nostovarresta sivupalkkiin.



Kuva 5.19. Konseptivaihtoehdon J myöhempiä kehitysversioita.

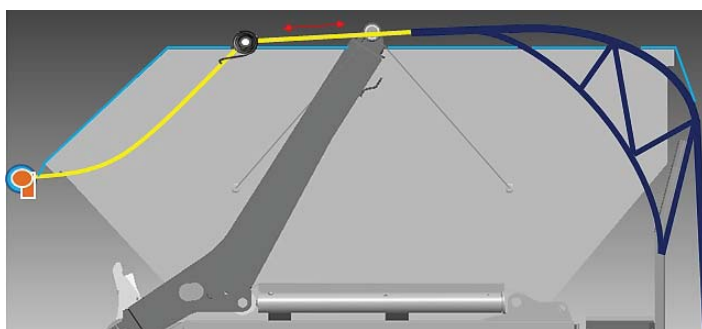
Kuvassa 5.19 vasemmalla on esitetty kolme vaihtoehtoista vaijerin kiinnitystapaa. Kahdessa näistä vaijeri on kiinnitetty varteen 2, jolloin jousi pitää rullan takana alhaalla. Kolmannessa vaihtoehdossa vaijeri kulkee keltaisella merkityn taittopyörän kautta ja on kiinnitetty varteen 1. Jos käytetään kolmatta vaihtoehtoa, on varsien väliin luultavasti lisättävä lukitus, sillä muuten peittoasennossa varsi 2 kelluu vapaasti peitteen varassa ja mahdollisesti pääsee heilumaan ajon aikana. Lukituksessa voidaan käyttää esimerkiksi sähkömagneetteja tai valmiina saatavilla olevaa resurssia, kippikoukkuja.

Jos rulla ylittää skiploaderin nostovarret riittävän korkealta, voidaan sähkömoottori ja vaihde asentaa peitelaitteen varsien sisäpuolelle. Sähkömoottorin yhteydessä ei ole pakko käyttää kulmavaihdetta, vaan veto voidaan välittää myös esimerkiksi ketjuvaihteella. Tällöin moottorin ja rullan akselit voisivat olla rinnakkain.

Kuvassa 5.19 oikealla näkyvässä kehitysversiossa väntäjousi ja vaijeri on korvattu paineakulla ja yksitoimisella hydraulisylinterillä. Kun sähkömoottori vetää rullan ja varsiston eteen, hydraulisylinterin mäntä painuu sisään ja paineakku latautuu. Sähkömoottorilla rullaa auki päästettäessä paineakkuun varastoitunut energia avaa peitteen. Hydraulisylinterin yhtenä etuna jousivaihtoehtoon verrattuna on, että erillistä pysäytintä alemmalle varrelle ei tarvita, mikäli sylinterin koko iskunpituus käytetään. Hydraulisylinterin ja paineakun suljettu järjestelmä voi olla käytössä epäluotettava muun muassa vuotojen takia ja toiminta tässä ajatellulla tavalla epävarmaa. Konseptivaihtoehtojen karsintaan valitaan näin ollen kuvassa 5.19 vasemmalla esitetty versio, jossa peitelaitte toimii sähkömoottorilla ja väntäjousella, ja jossa vaijeri on kiinnitetty varteen 1.

5.3.11 K

Kuvassa 5.20 on esitetty konseptivaihtoehto K, jossa yhdistyvät konseptien B ja C ideat. Kummallakin puolella skiploaderia peitelaitteen etuosa koostuu kiinteästä kehikosta, joka on riittävän korkealla, jotta se ei haittaa skiploaderin päällä toimimista. Kehikon yläputken sisällä on teleskooppiputki, jota painaa ulospäin puristusjousi. Yläputki on lievästi taakse alaspäin vinossa, jotta painovoima auttaa teleskoopin avaamisessa. Teleskooppiputken päähän on nivelöity varren toinen osa, jota vääntäjousi pyörittää kuvan suunnassa vastapäivään. Varsi on tarkoitettu muotoilla siten, että se asettuu kehikon muotoon saumattomasti. Varren päässä on rulla ja tähän suoraan kytkettynä sähkömoottori vaihteineen. Peitteen reuna on kiinnitetty noin ohjaamonsuojan puolivälin kohdalle, kuten muissakin tämänkaltaisissa konsepteissa.



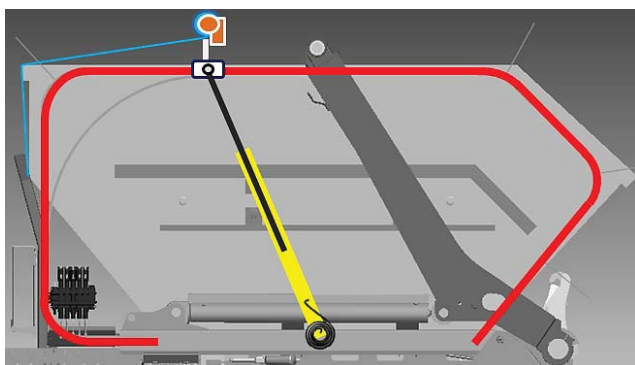
Kuva 5.20. Konseptivaihtoehto K.

Teleskoopin jousen ja painovoiman yhteisvaikutus tulee olla suhteellisesti voimaltaan pienempi kuin kiertyvän nivelen jousen, jotta varret ja teleskoopit aukeavat ja sulkeutuvat oikeassa järjestyksessä. Kotiasemasta lähdettäessä ensin aukeaa teleskooppi, minkä jälkeen varren loppuosa suorittaa heilahdusliikkeen. Kotiasemaan paluu tapahtuu käänteisessä järjestyksessä. Koska varsi on lyhyt verrattuna esimerkiksi vaihtoehtoon C varten, riittää pienempi vääntäjousi tuottamaan tarvittavan voiman. Kiinteän kehikon tukeva kiinnittäminen skiploaderiin vaatisi muun muassa ohjaamonsuojan uudelleen suunnittelua. Skiploaderin nostovarsiin voisi lisätä tuet, joihin teleskooppiputket voivat tukeutua. Näin kehikko saa olla kevytrakenteisempi.

5.3.12 L

Konseptivaihtoehto L näkyy kuvassa 5.21. Se on yhdistelmä konsepteista C ja E. Kiinteä, johteena toimiva kehikko ja tätä seuraava kelkka ovat kuin konseptissa C. Kuitenkin tässä rullaa pyörittävä sähkömoottori kykenee liikuttamaan kelkkaa ainoastaan kotiasemaan päin peitettä kelaten. Toiseen suuntaan liikkeen tekee sivupalkkiin kiinnitetty vääntäjousi teleskooppisen varren välityksellä. Teleskooppivarressa ei ole jouta vaan sisempi putki liikkuu vapaasti. Tässä ratkaisussa on sovellettu tehtävien jakamista siten, että johdekehikko kantaa rullan ja kelkan painon, ja teleskooppivarsi suorittaa avausliikkeen. Näin ollen johde voi olla esimerkiksi yksinkertaista pyöreää putkea, sillä sen

sisään ei tarvitse asentaa mitään. Teleskooppivarsi ei puolestaan joudu kannattelemaan peiterullakokoonpanon massaa, jolloin tarvittava jousivoima on pienempi kuin esimerkiksi konseptissa E.



Kuva 5.21. *Konseptivaihtoehto L.*

Tässä konseptivaihtoehdossa teleskooppivarsi jää kotiasemassa häirtämään skiplo-aderin päällä kulkemista. Tehtävien jakamisen takia osien määrä lisääntyy ja rakenne monimutkaistuu, vaikka laitteen massa ei kasvaisi. Kokonaisleveyden pysyminen sallituissa rajoissa on kyseenalaista, koska johdekehikko ja teleskooppivarsi ovat rinnakkain nostovarsien ulkopuolella. Sekä konseptivaihtoehto L että K vaatisivat arvion mukaan muihin konseptivaihtoehtoihin nähden keskimääräistä enemmän tutkimista ja testaamista käytännössä.

5.4 Näkökulmia toimilaitteiden valintaan

Seuraavissa aliluvuissa on kerrottaan toimilaitteivaihtoehtoista, joita nykyisin käytetään peitelaitteissa tai jotka voisivat sopia peitelaitteikäyttöön. Yleisesti käytettävien osien toimivuus ja luotettavuus on käytännössä testattu, joten niiden soveltuvuus omaankin laitteeseen on todennäköistä. Yleisesti komponenttitarjontaa tarkastelemalla saadaan selkeämpi käsitys eri konseptivaihtoehtojen toteutusmahdollisuuksista.

5.4.1 Sähkömoottori ja vaihde

Sähkötoimisten peitelaitteiden rullan kelauksessa käytetään yleisesti 12 tai 24 V tasajännitteisiä sähkömoottoreita, joihin on suoraan yhdistettynä yksiportainen kierukkavaihte (engl. *worm drive*), jonka akselit ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa. Tällainen vaihte on mahdollista suunnitella itselukittuvaksi, joten se sopii hyvin kuorman negatiiviseen liikutteluun, esimerkiksi peitteen auki päästämiseen. Lieriöhammaspyörävaihteen hyötysuhde olisi kierukkavaihdetta parempi, mutta sen yhteydessä olisi käytettävä erillistä jarrua.

Peitelaitteikäytössä tavallisia ovat 600 ja 900 W tehoiset moottorit ja pitkien lavojen peitelaitteille on saatavilla myös esimerkiksi 1100 ja 1300 W moottoreita. Vaihteen välityssuhde on yleensä 50:1, 60:1 tai 90:1. Moottori-vaihte -yksiköt maksavat noin 100–

200 €. (DYD 2014; Power Pro Tarping Systems 2012.) Sähkömoottorin lisäksi tarvitaan jännitelähde, joka on tässä tapauksessa auton sähköjärjestelmä, sekä kytkin ja sopivan kokoiset johdot. Kytkin voi olla esimerkiksi keinuhydrauliikalla ohjattava rele tai solenoidi. (US Tarp 2014) Johto ei saa olla liian pitkä tai ohut, jotta vastus ei kasva liian suureksi (Superwinch 2014). Joihinkin vaihteisiin on valittavissa käsikäyttömahdollisuus, joka tekee mahdolliseksi laitteen pyörittämisen myös sähkövirran puuttuessa.

Kuormituksen kasvaessa sähkömoottorin pyörimisnopeus laskee ja virrankulutus nousee. Esimerkiksi erään 90:1 välityssuhteella varustetun moottorin pyörimisnopeus ilman kuormaa on noin 57 kierrosta minuutissa. Kun käytössä on puolet maksimivääntömomentista (noin 141 Nm), kierrosluku on noin 30 kierrosta minuutissa. (Superwinch 2014.) Jos käytetään tavallista moottori ja vaihde -yhdistelmää ja vipuvarret ovat lähes vastaavat kuin olemassa olevissa laitteissa, voidaan olettaa, että moottoriyhdistelmä soveltuu myös omaan konseptivaihtoehtoon.

Eräs sähkömoottorikäyttöinen toimilaitte on karamoottori, jota on mahdollista käyttää hydrauliikka- tai paineilmasylinterin sijaan. Karamoottorissa tavallisesti sähkömoottori pyörittää vaihteen välityksellä ruuvia, mikä johtaa mutterin ja siihen kiinnitetyn karaputken aksiaaliseen liikkeeseen. Karamoottoreita on saatavilla kuularuuvilla ja trapetsiruuvilla, joista jälkimmäinen on mahdollista suunnitella itselukittuvaksi. Karamoottoreissa on yleensä mukana anturit, joilla esimerkiksi liikkeen päätyasemat voidaan tunnistaa. Aseman tunnistus auttaa tekemään peitelaitteen käytöstä käyttäjälle helpompaa. Karamoottorin paikoitustarkkuus on hyvä ja huollon tarve vähäinen. (Mekanex 2015.) Toisaalta karamoottori vaatii enemmän tilaa ja on kalliimpi kuin saman voiman tuottava hydraulisylinteri.

5.4.2 Hydrauliikka ja pneumatiikka

Hydrauliikan käyttäminen peitelaitteen liikkeiden toteutuksessa on luontevaa, sillä peitelaitte voi käyttää skiploaderin hydraulijärjestelmää. On myös mahdollista käyttää erillistä pumppu-yksikköä, joka koostuu sähkömoottorista, pumpusta, ohjaimesta ja säiliöstä (esimerkiksi Sixtek 2015). Erillistä yksikköä käyttämällä voidaan peitelaitte toteuttaa yhtenä toimivana kokonaisuutena, joka on mahdollista asentaa retrofit-asennuksena eri valmistajien skiploaderien päälle. Tällöin auton järjestelmästä tarvitaan ainoastaan sähköä. Esimerkiksi Transcover SkipCover -laitteessa käytetään erillistä sähköhydraulista yksikköä (Transcover 2015).

Toimilaitteina hydraulisissa peitelaitteissa käytetään tavallisesti kaksitoimisia hydraulisylintereitä. Esimerkiksi Shur-Co Xcalibur Automatic -laitteessa suurempien sylinterien sisähalkaisija on 2 tuumaa ja iskunpituus arvion mukaan noin 500–700 mm. Tämän kokoinen sylinteri maksaa noin 150 € (esimerkiksi Interfluid 2014). Yleensä peitelaitteikäyttöön sopivan kokoisilla sylintereillä maksimipaineet ovat noin 100–200 bar. Hyvän peitelaitteessa käytetään hydraulimoottoria rullan kelauksessa, ja esimerkiksi konseptien varsistojen liikuttelussa olisi mahdollista käyttää hydraulista vääntömoottoria. Hydraulisessa järjestelmässä voidaan käyttää paineakkuu energian varastointiin, esimerkiksi siten, että avausliikkeen aikana paineakku latautuu tulevaa peittoliikettä var-

ten. Pienemmässä mittakaavassa huvipuistolaitteiden turvakaarimekanismeissa on käytössä sylintereitä, joissa paineakku on suoraan kiinni vuodottomien, sähkökäyttöisten venttiilien välityksellä (Hoerbiger 2015). Suurempana tämänkaltaisen toimilaite voisi soveltua peitelaitteeseenkin.

Vaikka peitelaitteen hydraulijärjestelmä olisi liitetty skiploaderin järjestelmään, tarvitaan toimilaitteen lisäksi ainakin venttiileitä, putkia ja letkuja. Verrattuna sähköiseen järjestelmään, hydraulijärjestelmän komponentit vievät paljon tilaa ja ovat ajan myötä nestevuotojen takia epäsiistimpiä.

Myös pneumatiikan käyttäminen peitelaitteissa on mahdollista. Pneumatiikalla saavutetaan samankokoisissa toimilaitteissa pienempiä voimia kuin hydraulikalla ja liikkeiden tarkkuus on huonompi, mutta toisaalta esimerkiksi laitetta likaavia öljyvetoja ei ole. Pneumatiikkasynterien käyttäminen on järkevää esimerkiksi pieniä voimia ja suuria nopeuksia vaativissa kohteissa, kuten lukitussalpojen liikuttelussa. Paineilmasynteriä voidaan käyttää myös siten, että sitä avustaa jokin toinen laite, esimerkiksi kaasujousi (EP 1375224). Tällöin paineilmasylinterin voiman ja liikkeeseen tarvittavan voiman erotus saadaan kaasujousen voimasta. Myös tavallisia jousia voisi käyttää näin.

5.4.3 Jouset energiavarastona

Jousia voidaan käyttää mekanismeissa varastoimaan energiaa. Monissa peitelaitteissa on varret, jotka avaavat peitteen, ja kun varsien liikuttelussa käytetään apuna jousia, tarvitaan ohjattavan toimilaitteen voimaa vain yhteen liikesuuntaan. Esimerkiksi sähkömoottorilla voidaan vetää varret peitettä kelaamalla kotiasemaan, jolloin jouset ”virittyvät”. Kotiasemasta lähdettäessä sähkömoottorilla ja vaihteella hallitaan jousien suorittamaa peittämisiikettä. Koska jouset suorittavat liikkeen toiseen suuntaan, ne rinnastetaan tässä edellä mainittuihin toimilaitteisiin. Jos rulla ei liiku varsien mukana tai jos sitä ei pyöritetä toimilaitteella, on myös rullan sisällä yleensä vääntöjousi, joka pitää peitteen kireällä ja kiertää sen rullalle. Esimerkiksi nosto-ovissa on usein samankaltainen jousikonstruktio.

Varsien liikuttelussa käytetään apuna tavallisesti puristus-, veto- tai vääntöjousia. Skiploaderien peitelaitteissa tavallisimpia ovat litteät vääntöjouset (engl. *flat coil spiral spring*), joita on asennettu useampi rinnakkain, skiploaderin sivussa olevan korokkeen päälle. Tällainen litteä vääntöjousi ja jousikokoonpano näkyvät vasemmalla kuvassa 5.22. Tarkastelluista laitteista Skip 9000 käyttää kierteisiä vääntöjousia (engl. *helical torsion spring*), jotka on kiinnitetty skiploaderin sivupalkkien alle. Kuvassa 5.22 oikealla näkyy tämänkaltaisen rakenne. Oikeanpuoleisen kuvan kaltaisen, mutta 22 kierroksisen, peitelaitteikäyttöön tarkoitetun jousen hinta on hieman yli 100 € (Thompsons 2014b)



Kuva 5.22. Peitelaitteiden vääntäjousia (Transcover 2014; Carolina Tarps 2015).

Kaasujousia voitaisiin käyttää toimilaitetta, esimerkiksi paineilmasylinteriä avustavasti, kuten edellä on mainittu. Kaasujousia käytetään tavallisesti helpottamaan manuaalista käyttöä tai pitämään osia tietyssä asemassa. Sovelluskohteita ovat muun muassa liikkeen keventäminen ajoneuvojen ovissa tai erilaisten avattavien suojiin auki pitäminen. Peitelaitteikäytössä kaasujousi joutuisi toimimaan vaihtelevissa ulko-olosuhteissa, mikä tekee käytöstä epävarmaa. Esimerkiksi kaasujousen jäähtyessä, siitä saatava voima pienenee. (Lesjöfors 2014.) Työn alussa tehtiin konseptihahmotelmia, joissa hyödynnettiin kaasujousia, mutta näistä luovuttiin oletettujen luotettavuusongelmien takia.

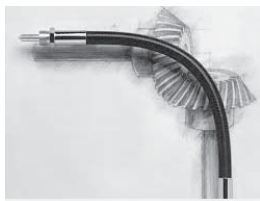
5.5 Muita peitelaitteen komponentteja

Toimilaitteiden lisäksi peitelaitteessa tarvitaan muitakin komponentteja, joita on esitelty tässä luvussa. Yksittäisten osien lisäksi on saatavilla myös rakennussarjoja, jotka sisältävät kaikki tarvittavat peitelaitteen komponentit irrallaan tai osakokoonpanoina.

5.5.1 Voiman ja tehon välitys

Vetävien liikkeiden toteutuksessa on mahdollista käyttää apuna vaijereita ja taittopyöriä. Vaijerilla voidaan välittää vetävä voima ahtaissa tai hankalan muotoisissa tiloissa. Vaijerin mitoituksessa on otettava huomioon muun muassa taivutussäteen vaikutus liikkuvan vaijerin kestoikään. Vaijerikäyttöihin on saatavilla myös valmiita vinssiyksiköitä, joiden kalaisia on käytössä esimerkiksi maastoajoneuvoissa ja nostimissa. Vinssi koostuu sähkömoottorista ja vaihteesta, vaijerirummusta ja teräs vaijerista sekä sähkömoottorin ohjausjärjestelmästä ja mahdollisesti jarrusta. Mikäli tarvittava liike on pitkä ja käyttö useita kertoja päivässä, tulee ongelmaksi vaijerin kelautuminen rummulle epämääräisesti, ja täten vaijerin kestoiän aleneminen.

Sähkömoottorin tehon välittämiseen yksi keino on joustavan akselin käyttäminen. Joustavalla akselilla (kuvassa 5.23) voidaan muun muassa korvata perinteisiä tehonsiirto komponentteja, kuten kardaaniniveliä, kulmavaihteita ja hihnakäyttöjä. Joustava akseli on myös hyötysuhteeltaan näitä parempi ja kevyempi, eikä se vaadi osien tarkkaa kohdistusta tai laakerointia. (Parlato 2013.) Peitelaitteessa joustavan akselin avulla osien sijoitteluun tulisi enemmän valinnanvaraa, kun moottori ja sen pyörittämä osa voitaisiin sijoittaa kauemmas toisistaan. Esimerkiksi tapauksessa, jossa rulla on varsien päässä ja sitä pyöritetään sähkömoottorilla, voidaan moottori asentaa kiinteästi skiploaderin etuosaan ja välittää teho peitelaitteen varsia myötäilevällä joustavalla akselilla.



Kuva 5.23. Joustava akseli (Parlato 2013).

Joissakin tutkittujen patenttijulkaisujen peitelaitteissa tehonsiirtoon käytetään hammasketjua. Tavallinen vaihtoehto on käyttää ketjua välittämään teho käyttävältä ketjupyörältä käytettävälle. Väilyssuhdetta muuttamalla säädetään käyttävän akselin vääntömomenttia ja nopeutta. On myös laitteita, joissa ketju pysyy paikallaan ja liikkuva osa vetää itseään ketjua pitkin, esimerkiksi sähkömoottorin voimalla. Tavallisen hammasketjun huonona puolena on voitelun tarve sekä tarve puhdistukselle, mikäli ketju ei ole huolellisesti suojattu lialta. On kuitenkin saatavilla myös voitelua tarvitsemattomia tai kestovoideltuja ketjuja, esimerkiksi osittain muovisia tai O-renkailla tiivistettyjä (FB Chain Group 2014).

5.5.2 Magneetit

Kuten edellä on mainittu, voidaan erilaisissa lukituksissa mahdollisesti käyttää sähkömagneetteja perinteisten mekaanisten lukitusten sijaan. Esimerkiksi 10 kg pitävän magneetin saa yksittäishinnalla alle 30 ja 40 kg pitävän alle 50 eurolla (SP-Elektroniikka 2015). Sähkömagneetti ei tarvitse erikseen suunniteltavia mekanismeja toimiakseen lukitsevana elementtinä vaan ainoastaan sähkövirtaa. Jos peitelaitteessa käytetään logiikkaohjausta, voidaan sähkömagneetti asettaa avautumaan automaattisesti paluuliikkeen alkamisen yhteydessä.

Joissakin kohteissa voidaan sähkömagneettien sijaan käyttää kestromagneetteja. Esimerkiksi joissakin peitteissä käytettävät käsin levitettävät sivuliepeet voisi kiinnittää lavaan kiristysnarujen sijaan kestromagneeteilla. Kun käyttäjä päästää liepeen avautumaan, magneetit tarttuvat teräksisen lavan sivupintoihin. Lavalla mahdollisesti kuljetettava teräsromu voi olla kestromagneettien kannalta ongelmallinen, mutta esimerkiksi rakennusjätteeseen magneetit eivät todennäköisesti tartu. Sopiva magneettien voima selviää helpoiten käytännössä testaamalla.

5.5.3 Peitelaitteen rakenteet

Yhteistä monille konseptivaihtoehdoille on jonkinlaisen tuulisuojan asentaminen rullan eteen, mikäli rulla on kotiasemassa auton ohjaamon yläpuolella. Tuulisuoja voi olla esimerkiksi levyrakenteinen ja sen muotoilulla voidaan vaikuttaa peitelaitteen ilmanvastukseen ja ulkomuotoon.

Kun halutaan jonkin komponentin liikkuvan tiettyä rataa pitkin, voidaan käyttää johdeprofiilia ja tätä pitkin kulkevaa kelkkaa. Esimerkiksi yksinkertainen lineaarinen tai kaareva johde koostuu C-profiilista ja kelkasta, johon on laakerien välityksellä kiinnitet-

ty rullat. Tätä tarkempia johteita on saatavilla, mutta näitä tuskin peitelaitteikäytössä tarvitaan.

Peitelaitteen rakenteissa voidaan käyttää esimerkiksi valmiita teräksisiä tai alumiinisia putkiprofiileja, poikkileikkaukseltaan pyöreää, neliömäistä tai RHS-profilia. Mahdollisesti jotkin komponentit voidaan kustannusten puitteissa tehdä terästä ja alumiinia lujemmasta ja kevyemmästä materiaalista, kuten hiilikuidusta. Esimerkiksi varsien päässä olevien komponenttien kannattaa olla kevyitä, jotta toimilaitteilta vaadittavat voimat olisivat mahdollisimman pieniä.

5.5.4 Peitteet

Skip-lavoilla kuljetetaan usein romua ja purkujätettä, joten peite altistuu helposti vaurioille. Lavat kuormataan yleensä siten, että kuorma ylittää laidat, jolloin esimerkiksi terävät esineet voivat aiheuttaa verkkorakenteiseen peitteeseen repeämän. Repeämisen riski suurenee, mikäli peiterulla on paikallaan ja peitettä vedetään kuorman yli. Peitteen valinnassa voidaan käyttää ainakin kahta tapaa: valitaan kevytrakenteinen peite, joka vaihdetaan usein tai raskaampi, joka kestää käytössä pidempään. Peitteen hinta nousee materiaalin kestävyyskasvaessa, mutta toisaalta kevyen peitteen vaihtaminen usein ei ole kuljetusten sujuvuuden kannalta hyväksi. Mitä useammin vaihtaminen joudutaan tekemään, sitä helpommaksi ja nopeammaksi vaihto-operaatio tulisi suunnitella.

Yksi yleinen skiploaderien peitelaitteissa käytettävä peite on tuotenimeltään Mighty Mesh, joka markkinointimateriaalien mukaan on kestävin tarjolla olevista vaihtoehtoista (esimerkiksi Shur-Co 2014c). Peitteen tiheys on noin 722 g/m^2 ja sen voi valita avattavilla sivuliepeillä tai ilman (emt.). Usein skip-lavojen kanssa käytetään myös halvempaa ja harvempaa PVC-verkkoa, varsinkin niin sanotuissa ei-automaattisissa peitelaitteissa.

Avaavilla varsilla varustetun peitelaitteen peitteen kokoa arvioitiin mittaamalla CAD-ohjelmalla 12 m^3 CHEM-standardin mukaisen lavan avoimen tilan sivureunojen yhteispituus. Rullalle menevän peitteen osan pituuden tulisi olla noin 6,8 metriä, pieni ylimäärä mukaan luettuna. Lavan eteen tarvitaan lisäksi vapaa osa, joka ei mene rullalle, jos oletetaan, että rulla on liikkuva. Tämän osan pituudeksi arvioitiin noin 1,3 metriä. Sopiva peitteen koko voisi siis olla noin $8,2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$, sivuliepeet mukaan luettuna. Rullalla oleva peitteen massa tulee lähellä kotiasemaa varsien kannatteleiseksi, ja tämän osan massaksi tulisi Mighty Meshin tapauksessa noin 12,5 kg. Tässä työssä tavoitteena on, että peitelaitte on automaattinen, joten kevytrakenteisen peitteen valitseminen ja usein vaihtaminen ei ole järkevä ratkaisu. Näin ollen kannattaa valita mahdollisimman kestävä peitemateriaali.

Monissa peitelaitteista peitteen tehtävänä on vain suojata kuormaa. Kuitenkin, kun peiterullaa pyöritetään toimilaitteella, peite toimii myös voiman välittäjänä. Esimerkiksi sähkömoottorin tuottama momentti aiheuttaa peiterullan säteen vipuvarren ansiosta peitteeseen voiman, joka vetää avausvarsia. Avausvarret puolestaan vetävät, puristavat tai kiertävät jousia. Kun peite toimii voiman välittäjänä, sen tulee kestää enemmän vetoa kuin pelkkä suojaava peite.

5.6 Konseptivaihtoehtojen ensimmäinen arviointi

Konseptivaihtoehtoista tulee karsia pois ne, jotka ovat vähiten sopivia jatkokehitykseen. Tarkoituksena on, että jäljelle jää noin 1–3 vaihtoehtoa seuraavaa vaihetta varten. Näin voidaan periaatteessa kohdistaa suunnitteluresurssit parhaimpiin vaihtoehtoihin.

Tässä työssä oli tavoitteena kehittää konseptivaihtoehtoja siten, että jo lähtökohtaisesti ne täyttävät ensimmäisessä valintavaiheessa Pahl et al. (2007, s. 107) esittämät kriteerit A, B, C ja E. Näin ollen vaihtoehtojen välisiä eroja ei saada esille näiden avulla. Kustannuksista puolestaan ei ole tarkkaa lukumääristä tietoa näin aikaisessa kehitysvaiheessa, joten myöskään kriteerin D (emt.) käyttäminen sellaisenaan ei ole mahdollista. Lisäksi Pugh-mallisen taulukon käyttäminen ei ole järkevää, koska tiettyä kiinteää perustasoa ei haluta määritellä ohjaavien ennakoasenteiden vaikutuksen välttämiseksi. Kriteeriä F (emt.) käytetään arvioinnissa muokattuna.

Erojen selvittämiseksi valitaan vaatimuslistalta valintakriteeriksi riittävä peittokyky. Peitteen tulee ulottua peittämään erimallisia lavoja, edestä alhaalta takaa alas asti. Peite ei saa kuitenkaan peittää skiploaderiin asennettuja takavalvoja tai rekisteritunnusta. Toisen vaatimuslistalta valittu kriteeri on, että peitelaite ei saa haitata skiploaderin päällä toimimista. Esteenä valinnalle jatkoon ovat esimerkiksi rakenteet, jotka estävät kiipeämisen skiploaderin sivupalkin etupään kohdalta ylös.

Yhtenä valintakriteerinä on konseptivaihtoehtojen monimutkaisuus, joka osittain vastaa Pahl et al. (2007) esittämää kriteeriä C. Monimutkaisuus-arvio perustuu muun muassa komponenttien määrään ja hintaan. Esimerkiksi mekanismi voi olla toimiva, mutta ei toteutettavissa sallituissa kustannusrajoissa. Vaikka konseptivaihtoehtojen rakenne tai komponentit eivät olisi monimutkaisia, voivat ne olla liian erikoisia ja uusia yritykselle, joten kriteeriksi otetaan myös konseptin erikoisuus. Jos konseptissa oletettavasti käytettävä tekniikka tai komponentit ovat yritykselle vieraita, ovat suunnittelu- ja tutkimuskustannusten todennäköisesti korkeammat kuin tuttua tekniikkaa hyödynnettäessä. Uudenlaisia keksintöjä tavoiteltaessa kannattaa tavallisesti hakea myös erikoisia ratkaisuja, mutta tämän kehitysprojektin edetessä yrityksen toiveet suuntautuivat konservatiivisiin ratkaisuihin. Monimutkaisuuteen ja erikoisuuteen sisältyvät implisiittisesti esimerkiksi kalliit valmistus- ja suunnittelukustannukset, pitkäaikainen suunnittelu- ja testaustyö sekä korkea epäonnistumisen riski.

Jos jotakin peitelaitekonseptia ei ole kehitetty yhtä pitkälle kuin toisia keskimäärin, ei sitä voida luotettavasti vertailla näihin. Näin ollen päätöksenä on, että konsepti ei etene jatkoon. Mikäli suunnitteluresursseja olisi käytössä enemmän, voitaisiin kaikkia vaihtoehtoja tutkia ja kehittää yhtä pitkälle. Yhtenä valintakriteerinä on, että laitteen tulee olla käytännössä mahdollinen toteuttaa. Esimerkiksi perusteelliset ongelmat konseptin rakenteiden fyysisissä ulottuvuuksissa johtavat vaihtoehtojen hylkäämiseen. Myös takaylityksen suuruus lava peitettynä voi johtaa hylkäämiseen tämän kriteerin perusteella.

Taulukossa 5.1 on esitetty konseptien ensimmäinen karsinta. Kunkin konseptivaihtoehtojen kohdalla arvioidaan kaikkien valintakriteerien toteutuminen. Mikäli valintakri-

teerin toteutumista ei pystytä arvioimaan tai kriteeri toteutuu ehdollisesti, merkitään tämän kohdalle kysymysmerkki. Jotta ratkaisu etenee jatkokehitykseen, on kaikkien valintakriteerien täytyttävä. Taulukon oikean reunan sarakkeeseen merkitään päätös konseptivaihtoehdon tulevaisuudesta.

Taulukko 5.1. Konseptien ensimmäinen karsinta (mukaillen Pahl et al. 2007).

Tekijä: Salonen			Valintataulukko						sivu: 1	
			Peitelaitetekonseptivaihtoehtojen karsinta							
Ratkaisuvaihtoehto	Ratkaisuvaihtoehtojen arviointi			Päätös						
	(+) Pitää paikkansa			(✓) Ratkaisu jatkoon						
	(-) Ei pidä paikkaansa			(⊗) Ratkaisu hylätään						
	(?) Arviointi epävarmaa									
	VALINTAKRITEERIT									
	Riittävä peittokyky									
	Ei haittaa skiploaderin päällä toimimista									
	Ei liian erikoinen									
	Ei liian monimutkainen									
	On kehitetty riittävän pitkälle									
Mahdollinen toteuttaa käytännössä										
			Huomioita							
1	A	?	+	+	-	-	-	Varsisto ei riitä viemään rullaa taakse asti	⊗	
2	B	+	-	+	-	+	+		⊗	
3	C	+	+	+	+	+	+		✓	
4	D	+	-	+	-	-	+		⊗	
5	E	+	-	+	-	-	+		⊗	
6	F	+	+	+	-	-	?	Jousivoimien ja tilan riittävyys kyseenalaisia	⊗	
7	G	?	-	-	+	-	?	Erikoinen ratkaisu, joka vaatisi paljon tutkimista	⊗	
8	H	+	+	+	+	-	?	Osien kestävyys ja mahtuminen kyseenalaisia	⊗	
9	I	-	-	-	-	-	?	Epävarmaa löytyykö oletetusti toimiva konstruktio	⊗	
10	J	+	+	+	+	+	+		✓	
11	K	+	+	-	+	-	?	Riittävän voimakkaiden jousien sopiminen epävarmaa	⊗	
12	L	+	-	-	-	+	+		⊗	
Päiväys: 2014					Versio: 1.0					

toimimista. Lisäksi E on arvioitu monimutkaiseksi ja keskeneräisemmäksi kuin muut keskimäärin. Esimerkiksi vajjeriin liittyvät mekanismit tarvitsisivat alustavaa suunnittelua. Konseptissa F on epävarmaa laitteen toiminnan oletetun sekvenssin toteutuminen. Tähän vaikuttavat muun muassa jousivoimien keskinäiset suuruuserot. Lisäksi komponenttien mahtuminen sallittuihin leveysrajoihin voi tuottaa ongelmia.

Konseptivaihtoehto G on periaatteessa toimiva, mutta liian keskeneräinen, jotta sitä voitaisiin luotettavasti arvioida. Esimerkiksi on kyseenalaista, onnistuuko elastisen varren toteutus todellisuudessa. Varsi tulee todennäköisesti myös olemaan tiellä skiploaderin päällä kuljettaessa. Vaihtoehto H:ssa on kiinteä varsi, joka on nivelöity yhdestä kohdasta skiploaderin sivupalkkiin. Mikäli halutaan peittää vaatimusten mukaiset suurimmat lavat, varsien pituus aiheuttaa suuren takaylityksen. Myös tehonsiirtokomponenttien kestävyys sekä mahtuminen sivupalkin kohdalle vaatisivat lisää tutkimista. Konsepti I ei täytä valintakriteerejä, mutta voisi osoittautua potentiaalisesti vaihtoehdoksi lisätutkimuksen myötä. Mikäli mekanismi saataisiin toimimaan halutulla tavalla, olisi se silti todennäköisesti liian monimutkainen toteutettavaksi. Vaihtoehto K on yrityksen näkökulmasta liian erikoinen ja yleisesti keskeneräinen. Kiinteän tukirakenteen suunnittelu riittävän kevyeksi ja lujaksi kuluttaisi oletettavasti paljon suunnitteluresursseja. Konsepti L on rakenteeltaan monimutkainen, ja teleskooppivarsi häiritsee skiploaderin päällä toimimista.

Jatkoon ensimmäisestä karsinnasta etenevät konseptivaihtoehdot C ja J. Seuraavassa luvussa esitetään näiden jatkokehitys sekä lopullinen konseptin valinta.

6 KONSEPTIVAIHTOEHTOJEN JATKOKEHITYS JA PARHAAN VALINTA

Tässä luvussa esitetään konseptivaihtojen ensimmäisessä karsinnasta jatkoon valittujen konseptien jatkokehitys sekä lopullinen konseptin valinta. Valinnassa jatkokehitettäviä vaihtoehtoja vertaillaan tiettyihin markkinoilla oleviin peitelaitteisiin.

6.1 Konseptivaihtoehto C

Toinen edellisestä vaiheesta jatkoon valittu vaihtoehto oli konsepti C. Ennen ensimmäisen konseptikehitysvaiheen karsintaa pidettiin toimeksiantajayrityksen tiloissa ideointi-kokous, jossa paikalla kirjoittajan lisäksi oli 4 tuotekehitysosaston työntekijää. Kokouksessa esiteltiin merkittävimmät ensimmäisen vaiheen ideat, ja näitä oli tarkoitus jalostaa sekä kehittää jatkoideoita. Kokouksen aluksi ryhmälle ei kerrottu tarkkoja peitelaitteen vaatimuksia, jotta vältettäisiin psykologista inertiaa. Konseptivaihtoehdon C kohdalla yksi työntekijöistä ehdotti sivussa olevien johteiden rajoittaman tilan peittämistä.

6.1.1 Umpinaiset sivut

Sivun peittämisen tueksi idean ehdottaja esitti esimerkin leikkuupuimureiden suojakuorien ja katteiden kehityksestä. Kuvassa 6.1 näkyy vasemmalla 1950-luvun leikkuupuimuri, jossa mekanismit ovat selkeästi esillä. Oikealla on puimuri 2010-luvulta, jossa liikkuvat osat on pääsääntöisesti peitetty katteilla. Käyttäjälle oikeanpuoleinen laite näyttää selkeämmältä ja siistimmältä. Katteilla vaikutetaan koko tuotteen ulkomuotoon, ja mekanismien peittäminen lisää myös turvallisuutta, kun käyttäjä ei joudu vahingossa kosketuksiin liikkuvien osien kanssa. Vastaava muotoilukehitys on nähtävissä myös esimerkiksi autojen moottoritilojen suojakuorien lisääntymisessä.



Kuva 6.1. Leikkuupuimurit 1950- ja 2010-luvuilta (Agrifoto 2014; Sampo Rosenlew 2014)

Vaikka skiploader on rakenteeltaan leikkuupuimuria huomattavasti yksinkertaisempi, saattaa sen muotoilun kehitys kuitenkin edetä samankaltaisesti. Kuvassa 6.2 näkyy vasemmalla Multilift-skiploaderin erään saksalaisen asiakkaan ratkaisu mainostilan lisäämiseksi skiploader-auton sivulla. Tässä skiploaderin sivuihin nostovarsien ulkopuolelle on asennettu noin 1 metrin korkuiset peltilevyt. Levyt muuttavat laitteen ulkomuotoa selkeämmäksi, koska pääsylinterit jäävät sivusta katsottuna piiloon. Toisaalta levyt haittaavat skiploaderin päällä kulkemista, mutta kuvan autossa esimerkiksi kuormaketjujen uudelleenkiinnitys onnistuu sivun alleajosuojan päällä seisten. Lukituksellisia kuormaketjuja käyttämällä tai ketjut asianmukaisesti kiristämällä skiploaderin päälle kiipeämiseen ei yleensä ole tarvetta, kun lava on kyydissä.



Kuva 6.2. Skiploader Saksasta (Cargotec 2014c) ja hahmotelma umpisivuisesta konseptista C (muokattu Hiab 2013).

Kuvassa 6.2 oikealla on esitetty hahmotelma kokonaan umpisivuisesta skiploaderista. Peiterulla kulkisi sivulevyjen reunassa olevaa johdetta pitkin. Peite voi asettua avuksessa lavan ja kuorman muotoon tai vaihtoehtoisesti sen reunat voisivat jäädä myötäilemään johteiden muotoa. Nostovarsien etupuolella sivulevyt voisi tukea toisiinsa poikittaistuilla tai yhdistää levyllä. Erillistä ohjaamonsuojaa ei välttämättä tarvita, jos sivulevyjä yhdistävä rakenne on tarpeeksi tukeva ja sopivasti muotoiltu. Jos peitelaitteen etuosa on umpinainen, peitettävä matka on lyhyempi kuin perinteisissä peitelaitteissa. Rakenne on mahdollista tehdä umpinaiseksi edessä nostovarsiin asti, jolloin lava saa samalla suojan ilmavirtaa vastaan.

Edellisestä vaihtoehdosta pitemmälle kehitetty versio on kokonaan umpinaisella kuormakorilla varustettu skiploader-auto. Tällainen kuorma-auto näyttäisi ulospäin tavalliselta jakeluajoneuvolta, ja kyljissä olisi tilaa mainoksille. Kuljetettava kuorma pitäisi nostaa kyytiin joko nykyisenkaltaisessa skip-lavassa nostovarsilla tai jollakin muulla keinolla. Kun on tarvetta ajaa nostovarsien teleskooppeja ulos, voidaan kuormatilan kattoa nostaa. Kuormakorin ei tarvitse olla perinteinen särmiön muotoinen, vaan se voidaan muotoilla sopivasti ilmanvastusta ajatellen. Kori voisi olla nostettavissa ylös skiploaderin nostovarsien käyttöä varten. Korin takaseinän on oltava avattava, jotta lava voidaan nostaa kyytiin ja kyydistä. Avaus voisi olla automaattisesti kytköksissä nosto-

varsien liikkeeseen, mikä helpottaisi laitteen käyttöä. Umpikorivaihtoehdon arvioidaan olevan kehitys ja valmistuskustannuksiltaan kalliimpi sekä monimutkaisempi kuin edellä esitelty umpisivuisilla johteilla varustettu laite, joten umpikorista konseptia ei voida ottaa mukaan lopulliseen vertailuun.

Mikäli sivut ovat kokonaan umpinaiset, konseptivaihtoehto C edellyttää radio-ohjauksen käyttöä, sillä käyttäjä ei voi skiploaderin etukulman ohjauspisteestä nähdä lavaa ja nostotilannetta skiploaderin takana. Radio-ohjausta käyttäen kuljettaja voi asettaa esimerkiksi skiploaderin takaosan sivulle tarkkailemaan laitteen toimintaa ja ympäristöä. Toisaalta sivujen ei tarvitse olla kokonaan umpinaiset, vaan esimerkiksi alaosasta avoimet, jolloin näköyhteys voidaan muodostaa.

6.1.2 Kelkan liikuttaminen ja johdekehikon rakenne

Sähkömoottoriyksikön paikka vaihdettiin vielä konseptin C alkuperäisen idean mukaisesti kelkan yhteydestä skiploaderin etuosaan. Näin saadaan liikkuvien osien massaa pienennettyä, eikä sähkömoottorin toispuoleisesta sijainnista rullan päässä tai sähköjohdon kulkureitistä aiheudu suunnitteluongelmia. Mahdollisesti kummankin puolen ketjulle voidaan asentaa oma moottori, jolloin vaadittava moottorikohtainen teho on pienempi. Moottori käyttää vaihteen välityksellä ketjupyörää, joka vetää kelkkaan kiinnitettyä hammasketjua. Vetävän ketjupyörän lähelle tarvitaan todennäköisesti ohjaavat ja kiristävät pyörät, jotta veto olisi mahdollinen. Peiterullan sisällä tulee olla vääntöjousi peitteen kelaamiseksi takaisin rullalle. Erillistä lukitusta peitteelle ei takana tarvita, sillä kelkka pysyy ketjun avulla paikallaan. Tämä konseptin C mekanismiversio valitaan lopulliseen vertailuun.

Ketju kulkee johdekehikkoa myötäillen ja alhaalla skiploaderin sivupalkin suuntaisesti. Johdeprofiilin tulee olla yhdeltä sivulta avoin, jotta kelkka pääsee kulkemaan. Avoin sivu kannattaa olla sisäsivu, jotta ketju on parhaiten lialta ja säältä suojassa. Kelkkaan asennetaan rullat kitkan pienentämiseksi ja ketjun suunnanmuutosten kohtiin taittopyörät, ketjun hankautumisen vähentämiseksi. Hammasketjun yhtenä huonona puolena vaijeriin verrattuna on, että moottorin ketjupyörän tulee olla likimain samassa linjassa ketjun kanssa. Vaijerimekanismeissa esimerkiksi taittopyörien akseleiden suunnat voivat poiketa toisistaan, kunhan vaijeri on erikseen linjassa kunkin taittopyörän kanssa.

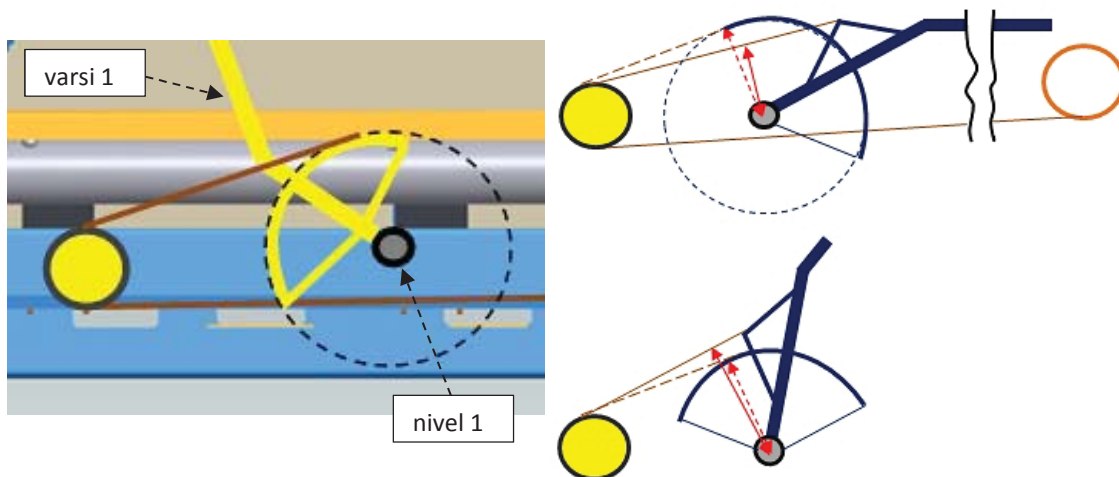
Johdeputket voivat olla esimerkiksi alumiinista tai teräksestä valmistettua C-profiilia. Sivujen peittäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi muovi-, pelti- tai komposiitilevyillä tai pressulla. Käytön helpottamiseksi sähkömoottorin ohjauksessa voisi käyttää ohjelmoitavaa logiikkaa ja anturitietoja. Anturit olisi helppo asettaa havaitsemaan kelkan päätyasemat, jolloin käyttäjän ei tarvitse kuin käynnistää liike. Mahdollista peiterullan ja kuorman törmäystä varten moottorissa tulee olla suojamekanismi, joka katkaisee vedon vaurioiden välttämiseksi. Tämä konseptivaihtoehto on käyttäjän kannalta turvallisempi kuin esimerkiksi varrelliset versiot, sillä riski puristumisesta liikkuvien osien väliin on tässä pienempi.

6.2 Konseptivaihtoehto J

Konseptivaihtoehdon J rakennetta kehitettiin edelleen ja komponenttien voimia selvitetiin laskentamallilla. Konseptia C monimutkaisemman liikuttelumekanismin takia kehitystyö tässä konseptissa oli suurempi.

6.2.1 Rakenne ja toiminta

Kuvassa 6.3 vasemmalla näkyy ensimmäinen kehitysversio konseptivaihtoehdosta J. Uutta verrattuna edelliseen kehitysversioon on vaijerin kiinnitystapa varteen 1. Varteen on kiinnitetty osa ympyrän kaarta, jonka keskipisteenä on nivel 1. Vaijeri on kiinnitetty kaaren toiseen päähän, jolloin vaijerivoiman vipuvarsi nivelen 1 suhteen pysyy vakiona. Tämä kiinnitystapa nimetään tangentialiseksi kiinnitykseksi. Vaijerin kiinnityspisteen halutaan olevan varren 1 yläpintaa alempana, jotta haitta skiploaderin päällä liikkumiselle on mahdollisimman pieni ja mekanismien päälle mahdollisesti tulevan suojan suunnittelu on helpompaa.

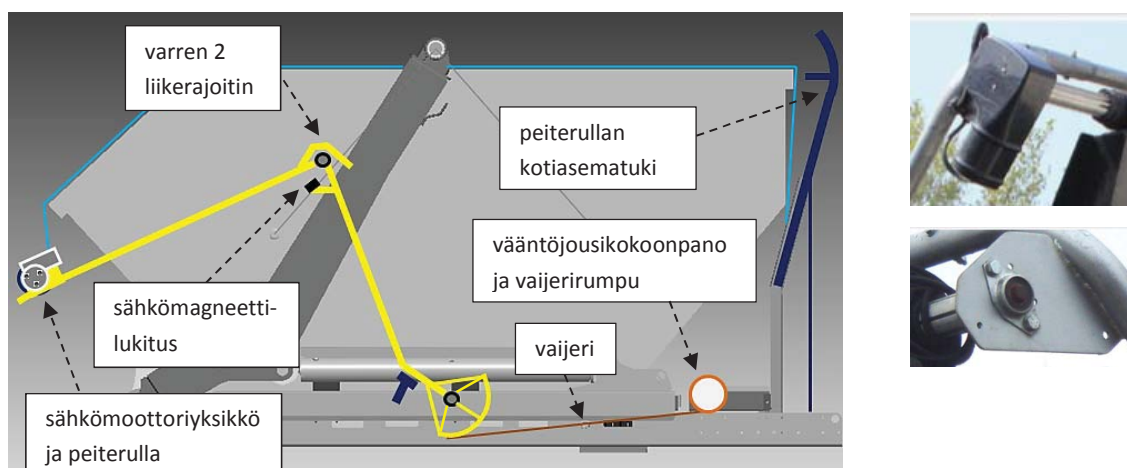


Kuva 6.3. Konseptivaihtoehdon J kehitysversio tangentialisella kiinnityksellä.

Rullan lähtiessä kotiasemasta jousien vaijeriin kohdistama voima on suurimmillaan, samoin kuin varsien kääntämiseen nivelen 1 ympäri tarvittava vääntömomentti. Näin ollen on toivottavaa, että myös vaijerivoiman vipuvarsi nivelen 1 suhteen on suurimmillaan alussa. Kuvassa 6.3 oikealla on havainnollistettu tangentialisen kiinnityksen etua verrattuna yksinkertaisempaan kiinnitysvaihtoehtoon. Oikealla ylhäällä on lähtötilanne, jossa yksinkertaisempi kiinnitys on merkitty yhtenäisellä viivalla ja tangentialinen katkoviivalla. Nuolet kuvaavat voiman vipuvarsta, ja kuvasta nähdään, että alussa tangentialisella kiinnitystavalla vipuvarsi on suurempi. Vaijerin kiinnityspisteen voisi siirtää samaan kohtaan yksinkertaisemmassa kiinnityksessä kuin tangentialisen kiinnityksen tangenttipisteen, mutta tällöin vipuvarsi pienenis liian nopeasti liikkeen edetessä. Kiinnityspistettä ei myöskään voida nostaa, koska sen halutaan olevan varren 1 yläpintaa alempana. Alemmassa kuvassa varsi 1 on kääntynyt noin 45 astetta, jolloin yksinkertaisen kiinnityksen vipuvarsi on suurempi, mutta toisaalta myös vääntömomenttia tarvitaan

vähemmän. Tarvittava vääntömomentti vähenee, kun varsiston painopiste siirtyy pystytasossa lähemmäs niveltä 1, ja kääntyy lopulta negatiiviseksi, kun painopiste ohittaa nivelen 1. Vaijerin kiinnityskaaren ei tarvitse riittää koko liikkeen matkalle, vaan vain voiman suunnan muutokseen asti. Kaarevan rakenteen valmistus ja kiinnitys varteen 1 on kalliimpi kuin vaihtoehtoinen rakenne, mutta suuremmalla vipuvarrella saavutettavan edun takia tangentiaalinen kiinnitys valitaan.

Koska kuvassa 6.3 näkyvä kaareva tuki ja varsi 1 ovat samalla linjalla, on varren alaosa tehtävä esimerkiksi kahdesta latasta, jotka kiinnitetään vaijerin tuen kummallekin puolelle. Lattoihin voidaan edelleen kiinnittää sopivaa putkiprofiilia, josta loppu varsisto muodostuu. Koska varresta 1 haluttiin mahdollisimman kapea, konseptia kehitettiin edelleen. Viimeisin kehitysversio on esitetty kuvassa 6.4 vasemmalla. Tässä vaijerin tangentiaalinen tuki on siirretty nivelen 1 toiselle puolelle, jolloin varsi voi olla nivelestä asti yhtenäistä putkea. Siirto ei vaikuta tarvittavan vaijerivoiman suuruuteen, mikäli tuen säde pysyy samana. Tuen muutoksen lisäksi kuvan 6.4 kehitysversiossa yksi suuri vääntäjousi edessä on korvattu kummallekin puolelle tulevalle jousikokoonpanolla, joka koostuu litteistä spiraalivääntäjousista (kuten kuvassa 5.22 vasemmalla).



Kuva 6.4. Konseptivaihtoehto J ja yksityiskohtia Skip 9000 laitteesta (Shur-Co 2014a).

Varsien 2 päähän kiinnitetään levy, johon sähkömoottori-vaihde -yksikkö asennetaan. Kuvassa 6.4 oikealla näkyy, miten Shur-Co Skip 9000 -laitteessa rulla sekä moottoriyksikkö on kiinnitetty. Samankaltainen rakenne toimisi myös konseptissa J. Sähkömoottoriyksikön kiinnityslevyn tulisi olla mahdollisimman lähellä skiploaderin keskellä sijaitsevaa kuviteltua pitkittäissuuntaista pystytasoa, jotta peitelaitteen kokonaisleveys saataisiin mahdollisimman pieneksi.

Rullan rinnalle on lisättävä varsia 2 yhdistävä poikittaistuki, joka jäykistää rakennetta, koska pelkkä laakeroitu peiterulla ei pysty pitämään varsia yhdensuuntaisina ja rullaa suorassa. Vaikka varret 2 yhdistetään jäykällä poikittaistuella, voi sähkömoottoriyksikön aiheuttama toispuoleinen massa aiheuttaa ongelmia, kuten rakenteiden väsymistä tai nivelten kulumista, mikäli nivelissä on liikaa välystä. Skip 9000 -laitteessa tämä ei aiheuta ongelmaa, sillä koko varsikehikko on jäykkä. Toisaalta konseptissa J on ajatukse-

na, että varret suorittavat alkuosan peittoliikkeestä yhtenäisenä rakenteena, kuin niveltä 2 ei olisi. Vasta kun varsi 1 on osunut sivupalkkiin kiinnitettyyn pysäyttimeen ja peitettä päästetään rullalta lisää, pääsee varsi 2 kiertymään nivelestä 2. Jouset pitävät varren 1 pysäytintä vasten, jolloin varren 2 kannalta tilanne olisi sama, kuin jos nivel 2 olisi kiinteästi asennettu kuvan 6.4 tilannetta vastaavaan asemaan.

Nykyistä ohjaamonsuojaa tulee vahvistaa tai suunnitella se kokonaan uudelleen ja kiinnittää sen yläosaan kotiasematuki rullalle. Tuen etuosaan tulisi muotoilla sopiva suoja rullalle ilmavirran takia. Peite voidaan kiinnittää ohjaamonsuojaan esimerkiksi peitteen reunan sisälle pujotetun putken välityksellä siten, että putken päät on pultattu ohjaamonsuojan runkoprofiileihin.

Muotoiltuja suojalevyjä voidaan asentaa konseptin J mukaisen peitelaitteen liikkuvien komponenttien kohdalle, jotta peitelaitteesta saadaan siistimpi. Skiploaderin sivupalkkiin voidaan tehdä suoja, joka peittää varren 1 kotiasemassa, vaijerin tangentiaalisen tuen ja vaijerin sekä vaijerirummun jousikokoonpanoineen. Sivupalkki voitaisiin myös muotoilla siten, että konseptin J mukaisen peitelaitteen varret 1 asettuvat sivupalkin sisään. Tässä on kuitenkin otettava huomioon, että laitteen on pysyttävä turvallisena. Vaaraa puristumisesta suojan ja liikkuvan osan väliin ei saa syntyä.

Lopullisen peitelaitteen suunnittelussa varsien värähtelyt ja heilumiset tulee ottaa huomioon. Varsistossa on joka tapauksessa joustoja, joten ohjaavat levyt ulompien varsien 2 sisäpintaan voivat olla tarpeelliset. Levyt ohjaavat varren skiploaderin nostovarsien ohi, jos jokin voima taivuttaa vartta nostovartta päin. Tällaiset levyt ovat esimerkiksi Harsh Skip Flip -laitteessa ja Shur-Co Xcaliburissa.

6.2.2 Laskentamallit

Liitteinä 4 ja 5 ovat laskentamallit, jotka tehtiin konseptivaihtoehtoon J vertaamiseksi markkinoilla olevaan peitelaitteeseen. Vertailulaitteeksi valikoitui Shur-Co Xcalibur Automatic, jonka laskenta löytyy liitteestä 4. Laitteen komponenttien mitat on pyritty selvittämään mahdollisimman tarkasti saatavilla olevien markkinointimateriaalien ja kuvien perusteella. Muun muassa Xcaliburin hydraulisylinterien halkaisijat saatiin selville valmistajan tarjoamasta osaluettelosta (Shur-Co 2014b). Muita mittoja arvioitiin esimerkiksi asennusohjeiden mittojen perusteella (Shur-Co 2014d).

Hydraulisen peitelaitteen mekanismeista muodostettiin parametrinen vektorimalli, jonka tuloksena saatiin sylinterien voimat varsien kulmien funktioina. Hydraulisen version laskentamallissa laskenta tehtiin 9 m^3 lavan mukaan, koska laitteen mitat eivät riitä 12 m^3 lavan peittämiseen. Rullan liikkeessä peitteen kontaktikohta lavaan vaihtuu, joten jousen rullaan kohdistaman peitevoiman vektorista tehtiin neljä eri versiota. Jousivoiman suuruutta arvioitiin Multilift Easycover -peitelaitteen jousivoiman testausraportin perusteella. Rullan pyörimisnopeudeksi oletettiin noin 40 kierrosta minuutissa ja rulla-putken halkaisijaksi tiedettiin 125 mm. Rulla-putken massa ja peitteen (oletuksena Mighy Mesh) koko arvioitiin. Näiden tietojen perusteella laskettiin rullan tilavuuden ja massan muutokset liikkeen aikana sekä kokonaisliikeaika. Kokonaisliikeajaksi yhteen suuntaan saatiin noin 16,8 sekuntia. Mallissa liikeaikaan voidaan vaikuttaa esimerkiksi

rullan halkaisijaa muuttamalla ja todellisuudessa hydrauliöljyn tilavuusvirtaa muuttamalla.

Sylinterivoimat saatiin staattisesta tasapainoehdosta. Sivupalkkiin kiinnitetyn sylinterin 1 voima on esitetty nivelten 1 ja 2 kulmien funktiona. Suurimmaksi voimaksi saatiin noin 15,4 kN, joka tarvitaan kun varsien välinen kulma on suurimmillaan. Sylinterin 2 suurin voima oli noin 2,8 kN. Voimien perusteella laskettiin vielä vaadittavat painetasot sylintereillä sekä tehtiin nurjahdustarkastelu. Paine sylinterillä 1 on noin 76 ja sylinterillä 2 noin 24 baria, joten halkaisijaltaan pienemmätkin sylinterit riittäisivät. Tavallinen maksimipainetaso tämän kokoluokan laitteiden sylintereillä on noin 100–200 baria.

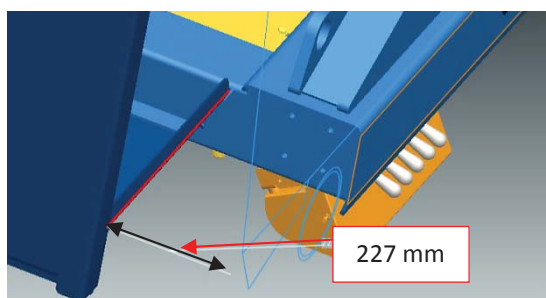
Konseptivaihtoehdon J laskentamallissa tavoitteena oli selvittää tarvittava vaijerivoima ja tämän perusteella edelleen jousien voimat. Varsistolle etsittiin CAD-ohjelmalla sellaiset mitat, että vaatimusten mukainen suurin lavakoko saadaan peitettyä. Varsistosta ja rullasta tehtiin karkea 3D-malli, rakenteen havainnollistamiseksi. Konseptista laadittiin vektorimalli kuten hydraulisesta peitelaitteestakin, mutta peitevoiman vektorit on määritelty tässä 12 m³ epäsymmetrisen CHEM-lavan mukaan. Rullan pyörimisnopeudeksi on arvioitu Skip 9000 -laitteen markkinointivideon perusteella noin 60 kierrosta minuutissa. Tätä arvoa käytetään, sillä konseptivaihtoehdon J mitat ja toimintaperiaate ovat lähes samat kuin kyseisessä laitteessa. Rullan halkaisijaksi asetettiin 60 mm ja peitteen pituudeksi noin 6,6 metriä. Näillä lähtöarvoilla heilahdusliikkeeseen kuluva ajaksi saatiin noin 18 sekuntia.

Vaijerivoima selvitettiin ratkaisemalla staattinen tasapainoyhtälö kuten hydraulisessa versiossakin. Peitevoima oletettiin pieneksi, sillä peitteen avautumisessa vaikuttava kitka on vähäinen. Suurimmaksi vaijerivoimaksi saatiin noin 4 kN, joka esiintyy peittämisen aloituksessa. Tämä on huomattavasti vertailumallin hydraulisynteroin voimaa pienempi arvo, johtuen muun muassa hydraulisen laitteen rullakokoonpanon suuremmasta massasta ja rullan jousivoimasta. On myös todennäköistä, että laskentamallin mukaisen hydraulisen peitelaitteen mittojen järkevämällä valinnalla sylinterivoimaa saataisiin pienemmäksi. Mikäli toimeksiantajayritys päätyy hankkimaan valmiin hydraulisen peitelaitteen, kannattaisi laitteen geometriaa sekä komponenttien kokoja yrittää optimoida. Oman konseptivaihtoehdon laskennassa haettiin iteroiden kompromissia vaijerivoiman, vaijerin tuen säteen sekä vaijerirummun ja jousien koon väliltä. Kun varsi 1 on noussut noin 70 asteen kulmaan, voiman suunta vaihtuu, jolloin jousia ei periaatteessa liikkeen suorittamiseen enää tarvita. Jonkin verran jännitystä jousissa tulisi kuitenkin olla myös lopussa, jotta varsi 1 pysyy tukevasti tukeaan vasten. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lukitusta, esimerkiksi magneetteja, jolloin jousien toiminta-alueeksi riittää noin 0–70 astetta.

Vaijeri mitoitettiin suurimman jousivoiman mukaan. Vaijerin rakenteeksi valittiin 6 x 19 ristiinpunottu ja materiaaliksi ruostumaton teräs AISI 316. Tämänkaltaisen vaijeri soveltuu hyvin ulko-olosuhteisiin ja taivutukseen, esimerkiksi taittopyörän yli kulkemiseen. Vaijerin halkaisijan tuli iteraatioiden perusteella olla 6 mm ja vaijerirummun halkaisijan 144 mm. Taittopyörän tai vaijerirummun halkaisija sekä uran koko vaikuttavat liikkuvan vaijerin käyttöikään. Käyttöikä määritettiin Feyerin (2007) teoksen perusteella

ja käyttösykliä määräksi saatiin noin 26240, mikä ylittää vaatimuslistalla tavoitellun ylärajan. Vaijerin tangentiaalisen tuen säteeksi valittiin iteraatioiden tuloksena 140 mm. Sivupalkin korkeus on noin 180 mm, joten nivelen 1 ollessa noin palkin keskilinjalla, vaijerin tuki asettuu noin 50 mm palkin alareunaa alemmas. Tämä sallitaan, sillä tähän kohtaan ei jouduta kiinnittämään mitään muuta.

Vaijerirummun pyörehdysliikkeen tulee laskennan mukaan olla noin 208 astetta, joten vaijeria kelataan yhdelle uralle, yhteen kerrokseen. Tällöin kelauminen tapahtuu aina siististi ja samalla tavalla. Vaikka vaijeria kelaavan komponentin pyörehdysliike jää alle yhden kierroksen, sitä kutsutaan tässä silti vaijerirummaksi. Suurin tarvittava vaijerirummun vääntömomentti on noin 288 Nm. Tarvittava vääntömomentti laskee liikkeen loppua kohti, kuten jousten voimakkin. Jousikatalogista (Lesjöfors 2014) valittiin alustavasti spiraalijouset, joiden maksimi vääntömomentti on 48,6 Nm, leveys 30 mm ja halkaisija noin 120 mm. Jousia tarvitaan siis 6 kappaletta kummallekin puolelle, jolloin yhteisleveydeksi tulee 180 mm. Kuvassa 6.5 näkyy tila, johon jousikokoonpano voidaan sijoittaa. Leveyssuunnassa tilaa on 227 millimetriä, joten lasketun kuuden jousen kokoonpanon mahtuu tähän kohtaan sijoittamaan hyvin. Suurin osa skiploadereista tilataan jollakin alustanpidennyksellä varustettuna, joten tila on tavallisesti käytettävissä. Jousien takia voidaan tarvita pääsylinterien letkujen uudelleensuunnittelua. Jos on tarpeellista, vaijerirummun akseli voi myös olla pystysuorassa tai vinossa.



Kuva 6.5. Tila jousikokoonpanolle skiploaderin etuosassa.

Yleisesti esitellyille peitelaitetekonsepteille pätee, että jouset ja vaijeri kannattaa päästää jännityksettömään tilaan, kun skiploader-auto ei ole käytössä. Esimerkiksi konseptin J tapauksessa voidaan antaa ohje, jonka mukaan peitelaitte tulee päästää auki-asentoon työpäivän päätteeksi. Konseptissa C rullan jousen jännitys on vähäisin kotiasemassa.

6.3 Vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen

Luvussa 5.3 tehdään arviointi, jossa selvitetään kumpi konseptivaihtoehdoista on parempi. Samalla konsepteja verrataan kahteen valittuun kilpailevaan peitelaitteeseen.

6.3.1 Vertailuun otettavat olemassa olevat peitelaitteet

Lopulliseen arviointiin otetaan kilpailevista laitteista mukaan kuvassa 6.6 näkyvät Boughton Engineering Intacova (vasemmalla) sekä Shur-Co Skip 9000 Sheeting System

(oikealla). Skip 9000 edustaa arvioinnissa sähköisiä peitelaitteita ja on valittu muun muassa yksinkertaisuuden ja rullan liikkumisen takia. Muissa liitteen 1 sähköisissä peitelaitteissa rulla on kiinnitetty skiploaderin etuosaan, jolloin peite saattaa avattaessa hankautua kuormaa vasten. Skip 9000 -laitteessa ei myöskään ole skiploaderin sivuilla erilisiä korokkeita, jotka haittaisivat käyttäjän toimimista skiploaderin päällä. Yhtenä huonona puolena on peitelaitteen sopiminen skiploaderin muotoon, sillä avauskehikko jää kotiasemassa kohtaan, josta skiploaderin päälle voisi kiivetä. Nivelöimättömän avausvarren takia on jouduttu tekemään kompromissi takaylityksen suuruuden ja suurimman peitettävän lavakoon välillä. Suurin peitettävä lavakoko on vain 10 m³, mutta silti takaylitys on suurempi kuin nivelvartisissa laitteissa, joissa rulla tavallisesti asettuu kippikoukkujen lähelle.



Kuva 6.6. Bughton Intacova (Bughton 2014) ja Shur-Co Skip 9000 (Shur-Co 2014a).

Hydraulitoiminen Intacova on toiminnan ja perusrakenteen osalta kuin Shur-Co Xcalibur Automatic, mutta on paremmin sovitettu Bughtonin omaan skiploaderiin. Xcalibur on asennettavissa mihin tahansa SLT 142 -kokoluokan skiploaderiin, joten yhtä hyvä yhteensovittaminen ei ilman räätälöintiä ole edes mahdollista. Xcalibur on yksi toimeksiantajayrityksen vaihtoehtoista Multilift-skiploaderin peitelaitteeksi, minkä takia edellä mainittu laskentamalli on tehty sen mittojen perusteella. Koska laitteiden kokoluokka on sama, oletetaan Xcaliburin laskentamallin pätevän myös Intacovaan.

Lopulliseen vertailuun haluttiin ottaa mukaan parhaiten skiploaderiin integroitu peitelaitte, joten Intacova valittiin Xcaliburin sijaan. Lisäksi asiakkaat pitävät Intacovaa Britannian markkinoilla parhaana peitelaitteena (Katajainen 2014). Kuvasta 6.6 nähdään, että kotiasemassa Intacovan ylemmät varret asettuvat täsmälleen ohjaamonsuojan muotoon. Varsiston alaosat puolestaan laskeutuvat skiploaderin sivupalkkien yläpintojen tasalle. Varren nivel ja hydraulisylinteri ovat suojassa sivupalkin sisällä, joten laiteyhdistelmän uloin osa sivusuunnassa ei ole peitelaitteen varsi, kuten yleensä, vaan suoja-levy. Yhtenä Intacovan huonona puolena on esimerkiksi Skip 9000 -laitetta hankalampi käytettävyyttä, sillä käyttäjä joutuu hallitsemaan kahta hydraulikkaventtiiliä ohjatakseen peittoliikettä. Skip 9000 käyttö onnistuu yhdellä on/off-kytkimellä. Lisäksi Intacova kuuluu monimutkaisen rakenteensa takia oletettavasti kalleimpiin peitelaitteisiin.

6.3.2 Konseptien ja vertailupeitelaitteiden lopullinen arviointi

Lopullisessa arvioinnissa ovat konseptivaihtoehdot C ja J sekä Intacova ja Skip 9000. Tarkkoja arvoja esimerkiksi suorituskyvystä ei ole konsepteille voitu selvittää ilman käytännön testausta, ja tähän ei ollut mahdollisuutta työn rajauksesta sekä resurssien vähäisyydestä johtuen. Konseptien vertaaminen todellisiin peitelaitteisiin ei siis ole yksityiskohtien tasolla mahdollista, joten vertailu tehdään periaatetasolla. Olemassa olevien peitelaitteiden kuvitellaan ikään kuin olevan konseptivaiheessa. Koska vertailu tehdään periaatetasolla, ei kannata käyttää laajaa pisteytysasteikkoa. Näin ollen pisteytys tehdään Ulrichin ja Eppingerin (2008) suosituksen mukaan käyttäen asteikkoa 1–5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras. Arviointikriteerit kattavat peitelaitteen valmistuksen, toiminnan sekä keskeisimmät rakenneratkaisut. Kriteereille asetetaan painoarvot niiden arvioidun tärkeyden mukaan kahdesta eri näkökulmasta. Taulukossa 6.1 on esitetty konseptien ja kilpailevien laitteiden vertailu painotettuna laitteen valmistajan näkökulmasta.

Taulukko 6.1. Konseptien ja vertailulaitteiden arviointi valmistajan näkökulmasta.

Arviointitaulukko		konsepti C		konsepti J		Skip 9000		Intacova	
asteikko: 1 huonoin, 5 paras	paino		painotettu		painotettu		painotettu		painotettu
1. sopiminen skiploaderin muotoiluun	0,05	5	0,25	3	0,15	2	0,1	4	0,2
2. haitta skiploaderin päällä toimimiselle (kotiasema)	0,1	1	0,1	4	0,4	2	0,2	5	0,5
3. takaylityksen vähäisyys	0,05	5	0,25	5	0,25	2	0,1	5	0,25
4. peittokyky	0,1	5	0,5	5	0,5	3	0,3	5	0,5
5. nopeus	0,05	4	0,2	4	0,2	5	0,25	2	0,1
6. ohjattavien toimilaitteiden määrä	0,05	5	0,25	4	0,2	5	0,25	2	0,1
7. ylläpidon helppous	0,05	3	0,15	4	0,2	5	0,25	4	0,2
8. komponenttien ja rakenteiden yksinkertaisuus	0,15	2	0,3	4	0,6	5	0,75	3	0,45
9. valmistuksen ja kokoonpanon helppous	0,1	2	0,2	3	0,3	5	0,5	2	0,2
10. tarvittava tutkimuksen ja suunnittelun määrä	0,15	1	0,15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
11. komponenttien tilantarve	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45	1	0,15
yhteensä	1		3,1		3,85		3,75		3,1

Ensimmäisenä arviointikriteerinä taulukossa 6.1 on **konseptin sopiminen skiploaderin muotoiluun**, mille on annettu painoarvo 5 %. Tässä konsepti C saa parhaat pisteet, sillä se määrittelee skiploaderin muotoilun kokonaan uudestaan ja sen voidaan katsoa sopivan siihen täydellisesti. 4 pistettä saa Intacova, jota pidetään tässä parhaana

olemassa olevista peitelaitteista. Kuitenkin varsisto taka-asennossa ulkonee selvästi skiploaderin muusta muodosta. Skip 9000 sellaisenaan sopii huonoiten skiploaderin muotoon, joten pisteitä annetaan 2. Ilman skiploaderin uudelleenmuotoilua konseptia J ei saada sopimaan yhtä hyvin skiploaderiin kuin Intacovaa, joten tuloksena on 3 pistettä.

Hyvän yhteensovittamisen takia Intacova **haittaa** myös vähiten **skiploaderin päällä toimimista**. Kriteerin 2 painoarvona on 10 %, sillä se on yksi asiakasvaatimuksista. Seuraavaksi vähiten haittaa skiploaderin päällä toimimiselle aiheuttaa konsepti J, mutta siinä kuitenkin jousikokoonpano hankaloittaa edestä ylös kiipeämistä. Skip 9000 varret hankaloittavat selvästi skiploaderin päällä liikkumista ja konseptin C rakenteet estävät sen käytännössä kokonaan, kun lava on kyydissä.

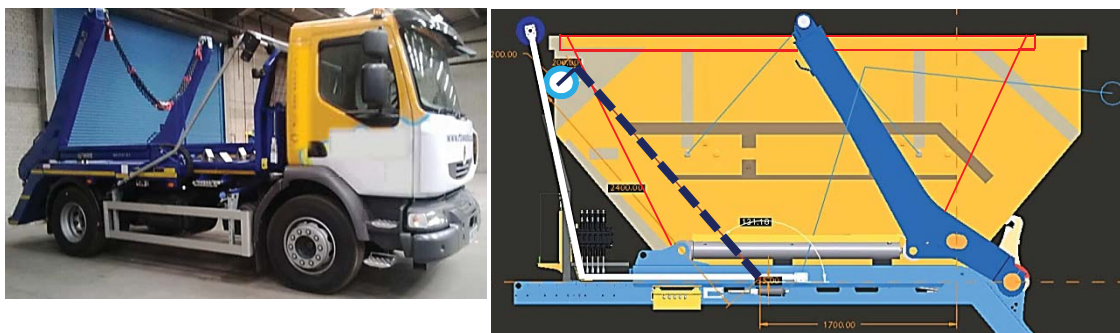
Kolmantena kriteerinä on **takaylityksen vähäisyys**, jonka pitää olla vähintään lain asettamissa rajoissa. Painoarvona on 5 %, sillä se vaikuttaa enemmän laitteen käyttöön kuin valmistukseen. Kuvassa 6.7 näkyy Shur-Co Skip 9000, kun lava on peitettynä. Avauskehikko ja rulla jäävät skiploaderin pääsyhintereitä ylemmäs ja arvion mukaan ainakin 100 mm alleajosuojaa taaemmas. Vaikka takaylitys on sallituissa rajoissa, voi peitelaitte kuitenkin esimerkiksi auton kääntyessä osua tahattomasti johonkin. Osittain suuremman takaylityksen takia Skip 9000 myös näyttää keskeneräisemmältä kuin vertailun muut vaihtoehdot. Takaylitystä voisi periaatteessa pienentää laskemalla rullaa alemmas, mutta tällöin se todennäköisesti peittäisi takavalot ja rekisterikilven. Muilla vertailun vaihtoehdoilla rulla asettuu skiploaderin pääakselin tuntumaan, jolloin takaylitystä ei ole ja tästä syystä ne saavat täydet pisteet.



Kuva 6.7. Skip 9000 takaylitys lava peitettynä (Thompsons 2014c).

Peittokyvvyllä tarkoitetaan tässä eri vaatimuslistan mukaisten lavojen peittämistä kokonaan. Valmistajan ilmoituksen mukaan Skip 9000 -laitteen suurimmat peitettävät lavat ovat tilavuudeltaan 10 m^3 (Shur-Co 2014a), kun vaatimuksena oli 12 m^3 . Kuvasta 6.8 nähdään, että Skip 9000 -laitteen peiterulla asettuu Multilift skiploaderissa ohjaamonsuojan yläreunan lähelle. Kuvassa oikealla on tämän perusteella tehty geometriatarkastelu, jossa näkyvät Skip 9000 rullan paikka, 12 m^3 epäsymmetriset CHEM-lavat normaalisti ja 180 astetta käännettynä, sekä 10 m^3 symmetrisen DIN-lavan ääriiviivat. Kuvasta nähdään, että Skip 9000 ei pysty peittämään kyseistä 10 m^3 symmetristä lavaa. Lisäksi peite ei ulotu takana alas asti (kuva 6.7), minkä vuoksi riski materiaalin putoa-

misesta tielle kasvaa. Näin ollen Skip 9000 saa peittokyvystä pisteitä 3 ja muut vaihtoehdot 5, sillä ne pystyvät peittämään kaikki koot. Kuvassa 6.8 valkoisella näkyvä varsis-to vastaa konseptivaihtoehdon J alustavaa geometriaa.



Kuva 6.8. Skip 9000 Multilift skiploaderin päällä (Shurco 2014) ja geometriatarkastelu.

Peitelaitteen **nopeuden** painoarvo on 5 %, sillä se ei ole valmistusnäkökulmasta tärkeä. Intacovan peitonopeudeksi valmistaja ilmoittaa 24 sekuntia (Boughton 2014). Koska tämä ei ole markkinoiden hitain peitelaitte, annetaan tälle 2 pistettä. Skip 9000 suoriutuu peittämisestä valmistajan mukaan alle 10 sekunnissa (Shur-Co 2014a), minkä takia se saa 5 pistettä. Konseptien C ja J oletetaan käyttävän vastaavaa sähkömoottori ja vaihde -yksikköä kuin Skip 9000, joten ne ovat teoriassa hitaampia ainoastaan pidemmän peitteen takia. Tästä syystä tuloksena on 4 pistettä kummallekin.

Peitelaitteen **helppokäyttöisyys** ei puhtaasti valmistajan näkökulmasta ole merkittävä, joten siihen liittyvien kriteerien painoarvot ovat 5 %. Kun satunnaista manuaalista työtä ei oteta huomioon, päivittäiseen helppokäyttöisyyteen vaikuttaa eniten ohjattavien toimilaitteiden määrä. Intacovan kahta hydraulisylinteriparia ohjataan kahdella vivulla käytettävällä suuntaventtiilillä, jolloin käyttäjän vastuulla on valita sopiva peiterullan rata. Koska kuitenkin erillisiä lukituksia ei tarvita, pisteitä annetaan 2. Skip 9000 käyttö vaatii vain yhden sähkömoottorin ohjauksen painokytkimellä, joten käyttäjän ei tarvitse huolehtia peiterullan radasta. Myös konseptin C oletetaan toimivan tällä periaatteella, joten molemmat saavat 5 pistettä yhdestä ohjattavasta toimilaitteesta. Konseptivaihtoehto J saa 4 pistettä, koska siinä tarvitaan mahdollisesti erillinen lukitus pitämään peiterulla takana paikallaan.

Toinen helppokäyttöisyyteen kytköksissä oleva kriteeri on **ylläpidon helppous**. Peitteen vaihtamisen oletetaan tapahtuvan kaikissa vertailun vaihtoehtoissa samankaltaisesti, joten se ei vaikuta vertailuun. Eroja tulee esimerkiksi voitelua vaativien kohteiden määrästä. Konseptivaihtoehdossa C on pitkä hammasketju, joka voi tarvita ajoittain puhdistusta. Kustannussäästön takia voidaan joutua käyttämään tavallista ketjua, joka vaatii voitelua. Lisäksi johteet tarvitsevat todennäköisesti puhtaanapitoa kelkan sujuvan liikkumisen takaamiseksi. Konseptille C annetaan pisteitä 3. Oletettavasti Skip 9000 ei vaadi säännöllistä huoltoa, joten se saa täydet pisteet. Konseptin J sekä Intacovan varsis-ton nivelet tarvitsevat todennäköisesti voitelua, mikäli kitkat halutaan pitää pieninä. Ajoittaista voitelua tarvitsee myös konseptin J vaijeri, jos sen kestoikä halutaan maksi-

moida. Intacovan hydraulijärjestelmässä mahdollisesti esiintyvien vuotojen takia voidaan joutua suorittamaan puhtaanapitoa. Konseptin J ja Intacovan ylläpidon helppouden arvioitiin olevan samalla 4 pisteen tasolla.

Konseptivaihtoehdon kustannusten suuruus on yksi valintaperuste, mutta ilman yksityiskohtaista suunnittelua tarkan kustannusarvion määrittäminen konsepteille ei tässä kehitysvaiheessa ole mahdollista. Skip 9000 -laitteen hankintahinta tiedetään, mutta tästä ei voida tarkasti päätellä valmistuskustannuksia. Intacovasta ei ole saatavilla hintatietoa. Peitelaittekonseptien kustannukset liittyvät suoraan esimerkiksi rakenteiden ja komponenttien yksinkertaisuuteen sekä valmistuksen ja kokoonpanon helppouteen. Myös tarvittava tutkimuksen ja suunnittelun määrä on kytköksissä kustannuksiin. Kustannukset tulevat siis implisiittisesti arvioiduiksi näiden kriteerien kohdalla.

Komponenttien ja rakenteiden yksinkertaisuus on valmistuksen kannalta tärkeää, joten painoarvona on 15 %. Huonoimpana pidetään konseptia C, sillä esimerkiksi johdotteet voivat tarvita erillisiä tukirakenteita, minkä lisäksi rullan liikuttelumekanismi on vertailun monimutkaisin. Intacovan hydraulijärjestelmän takia sille annetaan 3 pistettä, ja yksinkertaisin Skip 9000 saa 5 pistettä. Konseptin J yksinkertaisuuden arvioidaan olevan näiden välissä. Nivel ja vaijeri tekevät siitä monimutkaisemman kuin Skip 9000, mutta hydraulijärjestelmän puuttuminen yksinkertaisemman kuin Intacova.

Vaikka hydraulijärjestelmän yksittäiset komponentit olisivat yksinkertaisia, voi niistä koostuva järjestelmä kuitenkin olla monimutkainen. Tämä vaikuttaa **valmistuksen ja kokoonpanon helppouteen**, jonka painoarvona on 10 % taulukossa 6.1. Intacovalle annetaan tästä pisteitä 2. Siinä esimerkiksi hydraulikkakomponenttien asennus on työläs verrattuna muiden vaihtoehtojen sähköjärjestelmän osien asennukseen. Samat pisteet saa konsepti C, koska siinä on suuria rakenteita joiden hallinta kokoonpanon aikana on vaikeampaa kuin esimerkiksi konseptissa J käytettävän varsiston. Intacovassa ja mahdollisesti myös konseptissa J on tehtävä rullan jousen asennus ja esijännitys, mikä lisää kokoonpanoaikaa, verrattuna kahteen muuhun. Konseptille J annetaan pisteitä 3. Kaikissa vaihtoehtoissa joudutaan kiinnittämään peitelaitte skiploaderiin oletettavasti pulteilla, joten tällä ei saada merkittäviä eroja vaihtoehtojen välille. Valmistuksen ja kokoonpanon kannalta helpoimpana pidetään Skip 9000 -laitetta, joka saa 5 pistettä.

Kriteeri 10 tarkoittaa konseptien tapauksessa **tarvittavaa suunnittelutyön määrää**, jolla konseptista kehitetään toimiva peitelaitte. Olemassa olevien peitelaitteiden kohdalla ajatellaan peitelaitteen hankkimista valmiina Multilift-skiploaderiin, jolloin tutkimusta ja suunnittelua on tehtävä laitteiden yhteensovittamiseksi. Painoarvona on 15 %, sillä kriteeri on tärkeä valmistajan näkökulmasta. Skip 9000 arvioidaan parhaaksi, mutta siinäkin sovittamista ja esimerkiksi varsien muotoilua olisi tehtävä. Tälle annetaan 4 pistettä. Konseptin J valmiiksi suunnittelemista ja Intacovan tai vastaavankaltaisen hydraulisen laitteen sovittamista Multilift-skiploaderiin pidetään yhtä työläisenä. Konseptissa J voidaan käyttää hyväksi olemassa olevien peitelaitteiden rakenteita, joten kaikkea ei tarvitse suunnitella alusta asti. Konseptivaihtoehto C on uudenlainen ja keskeneräisempi kuin konsepti J, ja sen loppuun kehittäminen vaatisi todennäköisesti enemmän testausta ja muotoilun tutkimista. Sille annetaan 1 piste.

Komponenttien tilantarpeella tarkoitetaan sitä, paljonko peitelaitteen komponentit vievät tilaa skiploaderin rakenteissa. Kriteerin painoarvo on 15 %, sillä tilantarve vaikuttaa osaltaan peitelaitteen ja skiploaderin yhteensovittamiseen, esimerkiksi retrofit-asennuksessa. Peitelaitteen viemä tila on yleensä pois muilta komponenteilta. Esimerkiksi hydraulisen peitelaitteen putket, letkut ja venttiilit vievät paljon tilaa skiploaderin alustan alla. Intacova saa näin ollen yhden pisteen. Skip 9000 saa 3 pistettä, sillä sen jousikokoonpanot kilpailevat sivupalkkien alla tilasta kuorma-auton komponenttien kanssa. Konsepti J käyttää hyödyksi normaalisti käyttämättömiä tiloja, joten sen katsotaan oleva parempi kuin Skip 9000. Esimerkiksi alustan tai sivupalkkien alle ei tarvitse asentaa mitään. Vähiten nykyisenlaisen skiploaderin tilaa kuluttaa konsepti C, sillä siinä ainoastaan johteet kiinnitetään sivupalkin sivuun ja uudelleenmuotoiltuun ohjaamon-suojaan.

Taulukossa 6.2 on esitetty konseptien ja vertailulaitteiden arviointitaulukko painotettuna laitteen käyttäjän näkökulmasta. Peitelaitteen markkinointitoimenpiteet kuuluvat yleensä valmistavalle yritykselle, mutta vaihtoehtoja arvioitaessa markkinoinnin näkökulma on kuitenkin samankaltainen kuin käyttäjän näkökulma.

Taulukko 6.2. Konseptien ja vertailulaitteiden arviointi käyttäjän näkökulmasta.

Arviointitaulukko		konsepti C		konsepti J		Skip 9000		Intacova	
asteikko: 1 huonoin, 5 paras	paino		painotettu		painotettu		painotettu		painotettu
1. sopiminen skiploaderin muotoiluun	0,1	5	0,5	3	0,3	2	0,2	4	0,4
2. haitta skiploaderin päällä toimimiselle (kotiasema)	0,15	1	0,15	4	0,6	2	0,3	5	0,75
3. takaylityksen vähäisyys	0,1	5	0,5	5	0,5	2	0,2	5	0,5
4. peittokyky	0,1	5	0,5	5	0,5	3	0,3	5	0,5
5. nopeus	0,1	4	0,4	4	0,4	5	0,5	2	0,2
6. ohjattavien toimilaitteiden määrä	0,15	5	0,75	4	0,6	5	0,75	2	0,3
7. ylläpidon helppous	0,1	3	0,3	4	0,4	5	0,5	4	0,4
8. komponenttien ja rakenteiden yksinkertaisuus	0,05	2	0,1	4	0,2	5	0,25	3	0,15
9. valmistuksen ja kokoonpanon helppous	0,05	2	0,1	3	0,15	5	0,25	2	0,1
10. tarvittava tutkimuksen ja suunnittelun määrä	0,05	1	0,05	3	0,15	4	0,2	3	0,15
11. komponenttien tilantarve	0,05	5	0,25	4	0,2	3	0,15	1	0,05
yhteensä	1		3,6		4		3,6		3,5

Valmistaja keskittyy tyypillisesti käyttäjää enemmän kustannusten tarkasteluun, joten käyttäjä voi esimerkiksi pitää valmistajan näkökulmasta kallista ja monimutkaista laitetta käytettävyydeltään ja luotettavuudeltaan hyvänä. Tässä myös oletetaan, että laitteen käyttäjä ja ostaja ovat eri tahoja, jolloin hankintahinta ei ole tärkeä kriteeri käyttäjälle. Tärkeimpiä kriteerejä oletetaan olevan peitelaitteen haitta skiploaderin päällä toimimiselle sekä käytön helppouteen vaikuttavat kriteerit. Käyttäjä saattaa myös arvostaa peitelaitetta, joka näyttää muotoilullisesti sopivalta skiploaderiin. Takaylityksen määrä on tärkeämpi kuorma-autoa ajavalle käyttäjälle kuin valmistajalle. Peittokyky on yksi keskeisimmistä peitelaitteen ominaisuuksista, joten sillä katsotaan olevan yhtä painava vaikutus sekä käyttäjän että valmistajan näkökulmasta.

Molempien arviointitaulukoiden perusteella eniten pisteitä yhteensä sai konsepti-vaihtoehto J. Jos puhtaasti vain valmistukseen ja suunnitteluun liittyvät kriteerit otettaisiin huomioon, Skip 9000 olisi paras vaihtoehto valmistajan näkökulmasta. Kuitenkin laitteen ominaisuudet ja käytettävyys ovat arvostelussa mukana matalalla painoarvolla, ja näissä konsepti J on parempi kuin Skip 9000. Jaetulla kolmannella sijalla ovat Intacova ja konsepti C. Käyttäjän näkökulman mukaan painotetun arviointitaulukon parhaan ja toiseksi parhaan vaihtoehdon ero on 0,4 pistettä, kun vastaava ero taulukossa 6.1 on 0,1 pistettä. Taulukon 6.2 mukaan paras on konsepti J, jossa yhdistyvät vertailun kilpaillevien laitteiden käyttöön liittyvät parhaat puolet. Jaetulla toisella sijalla ovat Skip 9000 sekä konsepti C, joiden ero viimeiseksi jääneeseen Intacovaan on 0,1 pistettä. Skip 9000 on käytettävyydeltään samankaltainen kuin konsepti J, mutta esimerkiksi peittokyky ja takaylitys ovat huonommat. Konseptin C arvoa verrattuna konseptiin J vähentää merkittävä haitta skiploaderin päällä toimimiselle.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Luvussa 7 tarkastellaan, mikä johti luvun 6 lopussa tehtyyn valintaan. Lisäksi pohditaan molempia jatkokehitysvaiheen konsepteja TRIZ-näkökulmasta. Luvun lopussa esitetään jatkokehitysehdotuksia peitelaitetekseille, ensisijaisesti konseptille J.

7.1 Konseptien kehityksen ja valinnan tarkastelu

Ennen konseptien kehitystä peitelaitteisiin tutustuttiin laajasti, esimerkiksi teknisiä tietoja, kuvia ja markkinointimateriaalia tutkimalla. Kerätyn tiedon ja toimeksiantajayrityksen pohjatietojen perusteella laadittiin vaatimuslista peitelaitteelle. Vaatimuslistaa abstrahoimalla saatiin selville peitelaitteen päätehtävä, joka on varmistaa erilaisten kuormien pysymisen erikokoisilla lavoilla ajon aikana, vaatien käyttäjältä korkeintaan ohjauskomennot. Ennen uusien ideoiden kehittämistä tehtiin alustava patenttiselvitys tekniikan tason kartoittamiseksi ja kilpailijoiden patenttien löytämiseksi. Selvityksen perusteella ei löytynyt voimassa olevia kilpailijoiden patenteja, mutta patenttijulkaisuista saatiin kuitenkin ideoita ja osaratkaisuja omaa konseptikehitystä varten. Ideoita haettiin myös peitelaitteelle analogisista laitteista ja tekniikoista sekä luonnon rakenteista ja mekanismeista.

Ensimmäisiä konseptivaihtoehtoja hahmoteltiin vapaamuotoisesti jo ennen tarkkaa vaatimusmäärittelyä ja olemassa oleviin peitelaitteisiin syvällisemmin tutustumatta. Tässä pyrittiin minimoimaan psykologisen inertian vaikutus. Monet alkuvaiheen konsepti-ideoista osoittautuivat toteutuskelvottomiksi, kun vaatimukset tarkentuivat. Esimerkiksi suurin peitettävä lavakoko oli lopulta oletettua suurempi ja kuormien muodot oletettua epämääräisempiä. Alustavia konseptivaihtoehtoja oli yli 30, joista epämuodollisesti valittiin 12 potentiaalisinta ensimmäiseen karsintaan. Ennen karsintaa tarkasteltiin erilaisia komponenttivaihtoehtoja, joita nykyisissä peitelaitteissa käytetään tai joita omissa konsepteissa voitaisiin käyttää. Tämä tuki konseptivaihtoehtojen toteutuskelpoisuuden arviointia. Karsinnan perusteella valittiin kaksi vaihtoehtoa jatkokehitykseen, joista ensimmäisen tapauksessa kehitettiin muotoilua ja pohdittiin yksityiskohtien käytännön toteutusta sanallisesti. Toisen vaihtoehdon jatkokehitys aloitettiin rakenteen yksinkertaistamisella, minkä jälkeen tehtiin laskentamalli (liite 5) vajerivoiman selvittämiseksi. Tämän perusteella määriteltiin tarvittavat jousivoimat peittämisliikkeen aikaansaamiseksi sekä mitoitettiin vajeri. Vertailun vuoksi tehtiin laskentamalli myös kilpaillevasta peitelaitteesta (liite 4). Tässä mallissa selvitettiin ensisijaisesti hydraulisylinterien voimat, jotka osoittautuivat huomattavasti oman konseptivaihtoehdon vajerivoimaa suuremmiksi.

Konseptivaihtoehtojen jatkokehityksen jälkeen tehtiin lopullinen arviointi, johon otettiin mukaan lisäksi kaksi omissa kategorioissaan parhaaksi katsottua olemassa olevaa peitelaitetta. Arvioinnin jälkeen parhaaksi osoittautui konseptivaihtoehto J, joka on esitetty kuvassa 6.4. Valitussa konseptissa on yhdistetty kilpailevien peitelaitteiden parhaat puolet, systeemin kuitenkin merkittävästi monimutkaistumatta. Konseptin varsisto on rakenteeltaan kuten tavallisissa hydraulisissa peitelaitteissa, mutta liikuttelu tapahtuu jousivoimalla ja sähkömoottorilla kuten Shur-Co Skip 9000 -laitteessa. Kun liikuttelumekanismin lisättiin vaijeri, voitiin jousikokoonpanot sijoittaa tyhjiin tilaan skiploaderin etuosassa. Vaijeria ei ole työn aikana tarkastelluissa peitelaitteissa käytetty tällä tavalla, vaan idea on lähtöisin muusta tekniikasta. Valittu konsepti on varsiston ja vaijerin osalta monimutkaisempi kuin Skip 9000, mutta toisaalta konseptin peittokyky on vaatimusten mukainen ja häiritsevää takaylitystä ei ole. Konseptin peittokyky on yhtä hyvä kuin Boughton Intacovassa, mutta käyttö on kuitenkin yhtä helppoa kuin Skip 9000:ssa.

Kun tilaa skiploaderin rakenteissa ja sen ympärillä on vähän, sähkömoottori on hydraulijärjestelmää parempi vaihtoehto. Hydraulijärjestelmän komponentit vievät runsaasti tilaa ja vaativat paljon suunnittelutyötä, verrattuna valmiiseen sähkömoottoriyksikköön, minkä lisäksi hydraulijärjestelmässä on tyypillisesti vuotoja, jotka sotkevat laitetta. Valmiin sähkömoottoriyksikön ja kytkimen asennus on myös helpompaa kuin peitelaitteen hydraulijärjestelmän.

Konseptivaihtoehto C vaatisi konseptia J enemmän muutoksia skiploaderiin. Kokonaan umpisivuinen versio on toimeksiantajayrityksen puolelta poissuljettu, koska osa asiakkaista haluaa käyttää kiinteää skiploaderin ulko-ohjausta. Tällöin kuljettajan tulee pystyä näkemään skiploaderin etureunan ohjauspaikalta laitteen taakse, minkä umpiseinä estäisi. Lisäksi sivuseinät käytännössä estävät skiploaderin päällä toimimisen, kun lava on kyydissä. Radio-ohjausta ja kuormaketjujen lukitusta käyttämällä haittaa skiploaderin päällä toimimiselle tai näköyhteyden muodostamiselle ei tarvitsisi tarkastella, jolloin konseptin C kokonaispisteet nousisivat. Vaikutus on merkittävämpi tarkasteltuna käyttäjän näkökulman painotusten mukaan, sillä esimerkiksi haitta skiploaderin päällä toimimiselle -kriteerin painotus on tässä 15 %. Jos kriteeri jätettäisiin pois, olisi konsepti C paras käyttäjän näkökulmasta. Omista konsepteista valmistajan kannalta vaihtoehto C on huonompi, koska se on erikoisempi ja vaatisi enemmän kehitystyötä. Konseptivaihtoehto J valittiin tässä konservatiivisesti, ajatellen nykyisenlaista skiploaderia ja asiakkaiden tottumuksia. Konsepti C on kuitenkin huomionarvoinen tulevaisuudessa, kun toimeksiantajayritys seuraavan kerran kehittää skiploaderia ja peitelaitetta yhdessä.

Konseptien kehityksen ja valitun konseptin myötä on saatu vastaukset työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Konseptikehitykselle ja arvioinnille löydettiin sopivat menetelmät sekä saatiin selville, minkälaisia peitelaiteratkaisuja markkinoilla jo on. Lisätietoa jo kehitetyistä peittämiskäytännöistä saatiin patenttijulkaisuista. Kysymykseen peitelaitteen vaatimuksista vastattiin vaatimusmäärittelyllä. Konsepteja luomalla ja kehittämällä selvitettiin, mitä mahdollisuuksia lavan peittämisen toteutukseen on. Konsept-

tien ja vertailulaitteiden arvioinnin jälkeen voidaan todeta, että viimeiseenkin tutkimuskysymykseen parhaasta vaihtoehdosta on saatu vastaus.

7.2 Konseptivaihtoehdot C ja J TRIZ-näkökulmasta

Konseptivaihtoehdolla C voidaan ratkaista joitakin aiemmin määriteltyjä ristiriitoja. **Peitelaitte pitää olla ja peitelaitetta ei saa olla** -ristiriita ratkeaa, sillä perinteistä avausvarsiin perustuvaa peitelaitetta ei tässä konseptissa tarvita. Osan peitelaitteen toiminnosta suorittaa nyt kiinteä johdekehikko, jota voidaan pitää peitelaitteena tai osana skiploaderia. Tämä konsepti ratkaisee myös **peitelaitteen skiploaderiin sopimisen ja kustannusten ristiriidan**. Erillistä yhteensovittamista ei tarvita, sillä liikkuvia varsia ei ole ja sivulevyt peittävät skiploaderin mekanismit.

Konseptivaihtoehdo C ei ratkaise **voiman ja matkan ristiriitaa**, mutta on kuitenkin parempi voimien kannalta kuin pitkillä varsilla varustetut vaihtoehdot. Koska peiterullaa kannattelevat varret ovat lyhyet, riittää pienempi voima rullan liikutteluun.

Peitteen koon vaihtelemisen ristiriita ratkeaa tätä konseptia käyttämällä. Nyt peitteen ei tarvitse vaihtaa kokoa lavakoon mukaan, sillä skiploaderin sivut on peitetty. Tässä ei tarvita esimerkiksi peitteen levitettäviä sivuleyhteitä korkeita kuormia varten. Johdeiden korkein kohta on noin nostovarsien korkeimman kohdan tasalla, jolloin toisaalta kuorman maksimikorkeus on myös tämä. Korkeampaa kuormaa ei voida peittää ilman peitteen venymistä kuorman muotoon, sillä peitteen sivureunat ovat leveyssuunnassa aina kiinni samoissa kohdissa.

Konseptivaihtoehdossa C käytetään yhtenä **resurssina** vapaita tiloja skiploaderin sivuilla ja etuosassa. Nostovarsien etupuolella, lavan yläpuolella oleva tila voidaan käyttää kattamalla se kiinteällä rakenteella, mikä lyhentää peitettävää matkaa. Sähkömoottori voidaan sijoittaa skiploaderin sivupalkin etupuolella olevaan tyhjään tilaan. Tärkeänä resurssina on myös kuorma-auton sähköjärjestelmästä saatava sähkö, jota käytetään rullan liikuttamiseen. Liikkeen loppua kohti rullan palautusjouso kiristyy, jolloin rullan liikuttamisen voimantarve lisääntyy. Lopussa kuitenkin painovoima toimii avustavana resurssina, kun johde kaareutuu alaviistoon. Painovoiman jousi kompensoivan vaikutuksen takia moottori voidaan mitoittaa hieman pienemmäksi. Jousi vastustaa peittoliikettä, mutta toimii energiavarastona peitteen takaisinkelausta varten. Koska jousi on systeemiin lisätty komponentti, se ei ole yhtä arvokas kuin vapaasti saatavilla olevat resurssit. Konseptivaihtoehdon C resurssiksi voidaan laskea myös edellä esiteltyt patenttijulkaisut sekä toimeksiantajayrityksen työntekijän idea sivujen peittämisestä.

Luovista periaatteista konsepti C toteuttaa esimerkiksi **universaalisuusperiaatetta**. Konseptin mukainen peitelaitte voi parhaassa tapauksessa kuorman peittämisen lisäksi parantaa skiploaderin ilmanvastusta sopivan muotoilun avulla. Lisäksi peitelaitteen umpinaiset sivut tarjoavat mainostilaa, jota nykyisen skiploaderin ja peitelaitteiden pinnoilla on mitättömästi. Sivuseinien ansiosta toteutuu myös **haitta hyödyksi** -periaate. Sivuseinät toisaalta estävät skiploaderin päälle kiipeämisen laitteen sivusta, mutta toisaalta estävät myös skiploaderin päältä putoamisen, esimerkiksi puhdistustilanteessa.

TRIZ-näkökulmasta konseptivaihtoehto C ratkaisee enemmän ristiriitoja kuin konseptivaihtoehto J. Koska konseptissa J on liikkuvat varret, niiden sovittaminen skiploaderin muotoihin on vaikeampaa kuin luoda kokonaan uudenmuotoinen skiploader kiinteillä sivuseinillä. Kuitenkin tässä ratkeaa ristiriita, jonka mukaan **peitelaitteen tulee olla yksinkertainen ja peittokyvyn samalla hyvä**. Konsepti J on lähes yhtä yksinkertainen kuin Skip 9000, mutta peittokyky ja takaylityksen vähäisyys ovat kuten esimerkiksi Intacovassa.

Konseptivaihtoehto J käyttää **resurssina** tilaa skiploaderin nostovarsien ulkopuolella kuten vaihtoehto C. Jousikokoonpano sijoitetaan vapaaseen tilaan skiploaderin sivupalkin eteen. Auton sähköjärjestelmää käytetään kuten edellisessä konseptissa ja tämän lisäksi sähkömagneettilukituksessa. Vaihtoehtoisesti lukitus voidaan toteuttaa pneumatiikalla, jolloin resurssina on auton paineilmajärjestelmä. Muita käytettäviä resursseja ovat esimerkiksi painovoima ja jousien potentiaalienergia. Painovoima suorittaa peittoliikkeen loppuvaiheen, kun moottorilla päästetään peitettä rullalta. Paluuliikkeessä painovoima auttaa sähkömoottoria, kun jousien liikettä vastustava voima kasvaa.

Vaijerin käyttäminen on tehty **välittäjä**-periaatteen mukaisesti. Vaijeri välittää jousien voiman avausvarsille, jolloin komponenttien sijoittelu on vapaampaa. Toisaalta tässä toteutuu myös **kohteen jakaminen**, sillä idealähteenä olleessa Skip 9000 -laitteessa jousikokoonpano ja varret on sijoitettu kiinni toisiinsa. Välittäjä-periaatteen mukaisesti sähkömoottoriyksikkö voitaisiin myös sijoittaa skiploaderin etuosaan kiinteästi ja välittää teho joustavalla vetoakselilla. Tämä lisäisi kuitenkin monimutkaisuutta, joten tätä ei ensisijaisesti pyritä toteuttamaan. Vaijerin tangentiaalinen tuki on muotoiltu **pallo** ja **käyrät** -periaatteen mukaan.

7.3 Peitelaittekonseptien jatkokehittäminen ja suositukset

Molemmat loppuvaiheen konseptivaihtoehdot vaativat käytännön testausta tai tarkempien laskentamallien tekemistä. Esimerkiksi toimintanopeuksia on työlästä laskea, joten helpompi vaihtoehto on mitata ajat. Koska peitelaitte on suhteellisen yksinkertainen, voidaan testaamista ja mittaamista varten rakentaa prototyyppi. Prototyypin voisi rakentaa siten, että siinä on mahdollista kokeilla eri toimilaittevaihtoehtoja, esimerkiksi hydrauliiikkaa ja pneumatiikkaa sähkömoottorin lisäksi. Muita testaamista vaativia kohteita ovat esimerkiksi jousien kiristykset sekä tuulen ja pakkasen vaikutukset peitelaitteen toimintaan. Konseptissa J pitäisi lisäksi selvittää, toimiiko sähkömoottoriyksikön käyttäminen vain toisella puolella vai vetääkö toispuoleinen paino rullan liian vinoon. Mahdollista on myös esimerkiksi käyttää kummallakin puolella omaa pienempää moottoria tai välittää sähkömoottorin teho joustavalla akselilla rullalle, moottoriyksikön ollessa kiinni skiploaderin etuosassa.

Työssä esitettyjen peitelaittekonseptien käyttöä voitaisiin helpottaa entisestään muun muassa anturoinnin ja logiikkaohjauksen avulla. Kustannusten kasvun minimoimiseksi peitelaitte voisi käyttää skiploaderin ohjausyksikköä. Jos peitteen asema tunnistetaan anturien avulla, käyttäjän ei tarvitse huolehtia laitteen pysäyttämisestä sopivassa kohdassa. Kun lava on nostettu skiploaderin kyytiin, kuljettaja voi vain painaa nappia, jonka jäl-

keen peitelaitte toimii automaattisesti. Tässä säästyy aikaa, koska kuljettaja voi mennä valmistautumaan lähtöön, kun peitelaitte tekee peittämisen itsenäisesti. Ulko-ohjauspaikan lisäksi toinen käyttökytkin kannattaa sijoittaa ohjaamoon. Kun lähestytään paikkaa, jossa lava jätetään kyydistä, voidaan peitelaitte kytkeä avautumaan jo hieman ennen pysähdystä, mikä myös säästää aikaa. Epämääräisen muotoisia kuormia peitettäessä vaadittaisiin todennäköisesti painikkeen painamisen tai vivun vääntämisen lisäksi muitakin toimenpiteitä, esimerkiksi peitteen sivuliepeiden levitystä. Ennen ohjauskomennon antamista kuljettajan tulee silmämääräisesti arvioida, onko peitelaitteen toiminnalle esteitä lavalla.

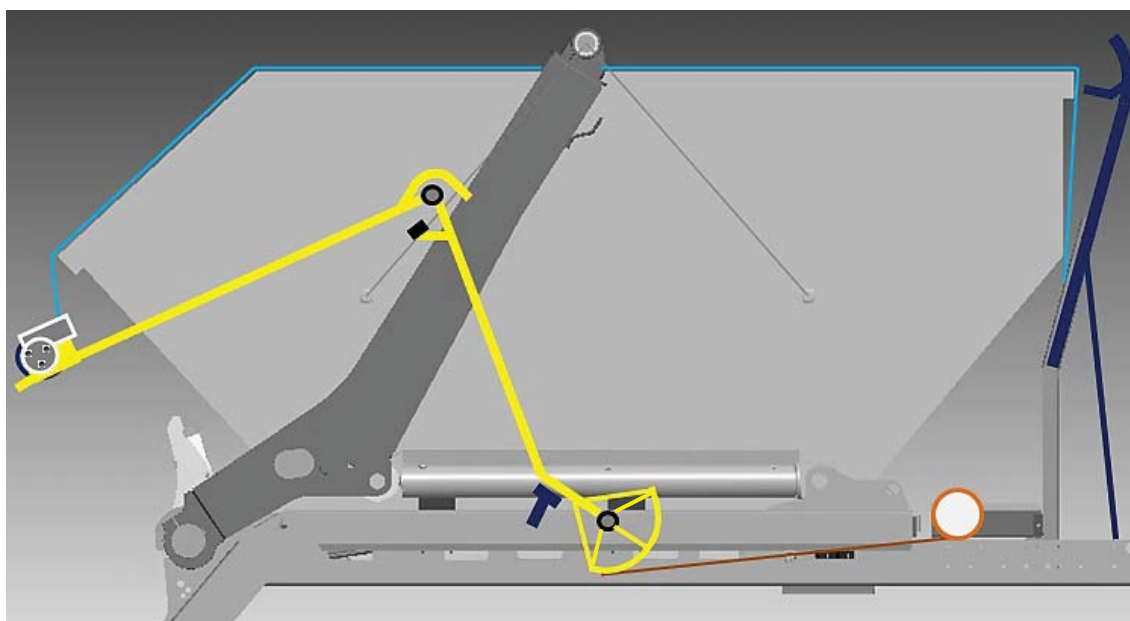
Työssä valitun konseptin J osalta tuotekehitysprosessin seuraava vaihe on yksityiskohtien käytännön suunnittelu, esimerkiksi materiaalien, toimilaitteiden ja standardikomponenttien valinta. Myös konseptitasolla kehitystä voisi jatkaa edelleen. Esimerkiksi vaijerin ohjuria tai vaijerirumpua voisi muotoilla siten, että vaijerivoima tulee jousien voiman muuttumisen kannalta optimaalisemmaksi. Vaijerivoiman vipuvarsi tulee olla suurimmillaan, kun varsien liikuttamiseen tarvittava momentti on suurimmillaan, eli kotiasemasta lähdettäessä. Jousien momentin ja varsien liikuttamiseen tarvittavan voiman tulisi muuttua samassa suhteessa. Myös avausvarsien pituus vaikuttaa suoraan vaijerivoiman suuruuteen. Koska skiploaderia tilataan eri alustapituuksilla, on avausvarsia valmistettava muutamaa eri kokoa.

Myös peitettä sinällään voisi kehittää. Jos peitteen rakenne jäykistyisi rullautuessaan auki, voitaisiin jouset jättää pois, koska moottoria pyörittämällä peite työntäisi avausvarret taakse. Toimintaperiaate olisi samankaltainen kuin rullamitassa, jossa jousiliuska rullalta avautuessaan pysyy ojentuneena itsestään. Tällöin varret voisivat olla hyvin kevytrakenteiset, sillä ne toimisivat vain tukina, jotka ohjaavat peiterullan sopivaa rataa pitkin lavan yli. Liikkeen lopussa peitteen jännitys tulisi kuitenkin saada poistettua, jotta peite asettuu lavan ja kuorman muotoon. Joissakin tapauksissa perinteinen peite voitaisiin kokonaan korvata edellä mainitulla ruiskutettavalla peitemateriaalilla. Esimerkiksi omissa konseptivaihtoehdoissa rulla korvattaisiin suutinrivillä, josta levitetään kuorman päälle ruiskutettava kertakäyttöinen peitemateriaali. Ruiskutettavan aineen tulisi olla sopivassa ajassa itsestään hajoavaa. Toisaalta ruiskutettava peite saattaa hankaloittaa esimerkiksi lajiteltavan jätteen käsittelyä.

Molemmissa arviointitaulukoissa toiseksi paras ja yksinkertaisin peitelaitteenvaihtoehto Multilift-skiploaderiin oli Skip 9000. Mahdollista alihankintaa ajatellen sitä voitaisiin pienin muutoksin parantaa. Esimerkiksi avausvarret voitaisiin muotoilla siten, että ne asettuvat paremmin sivupalkin ja ohjaamonsuojan muotoon. Tämä ei ratkaise vaatimusten mukaisten suurimpien lavojen peittämisen ongelmaa, mutta olisi edullisempi vaihtoehto konseptille J. Takaylitystä voisi pienentää laskemalla rullaa ja varsia takana alemmas. Takavalojen peittämisen ongelma voitaisiin ratkaista esimerkiksi kiinnittämällä toiset takavalot peitelaitteen poikittaistukeen. Konseptin J rinnalla voisi tuotteistossa olla Skip 9000 kaltainen laite pienemmille lavoille tarkoitettuna halvempaan vaihtoehtona. Kuitenkin kuten edellä on kerrottu, noin 70 % Britanniassa käytettävistä lavoista on tilavuudeltaan alle 9 m³.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä esitetyn kehitysprosessin tuloksena syntyi tavoitteiden mukaisesti potentiaalinen konsepti skip-lavan peittämiseen. Parhaaksi valittiin luvussa 6.2 tarkemmin esitelty konsepti J, joka näkyy kuvassa 8.1. Tästä muodostuisi yksityiskohtaisen suunnittelun jälkeen laite, joka muistuttaa perinteisiä peitelaitteita, mutta tarjoaa kuitenkin oletettavasti etuja verrattuna näihin. Konseptissa yhdistyvät kohdemarkkinoiden parhaiksi katsottujen peitelaitteiden hyvät puolet ja heikot piirteet minimoituvat. Konseptin mukaiseen laitteeseen tulisivat kuvassa 8.1 näkyvien komponenttien lisäksi suoja-levyt turvallisuuden lisäämiseksi ja ulkomuodon siistimiseksi.



Kuva 8.1. Parhaaksi valittu peitelaitetekonseptivaihtoehto J.

Työssä lähtökohtana oli skiploader ja skip-lava sellaisina kuin ne nykyisin käsitellään, koska kehitysresurssit olivat luonnollisesti rajalliset. Jos kehityskohde kuitenkin asetettaisiin perinteistä skiploaderin peitelaitetta laajemmaksi, voitaisiin tarkastella esimerkiksi kierrätysjätteiden ja romujen syntymisen vähentämistä tai eliminointia. Voitaissiinko esimerkiksi rakennukset rakentaa tulevaisuudessa niin kestävästi, että niitä ei periaatteessa tarvitsisi purkaa. Jos kuitenkin jättemateriaalia syntyy, mikä olisi paras tapa siirtää se paikasta toiseen. Skiploaderilla varustettu kuorma-auto ei ole ideaalinen keino materiaalin siirtämiseen, koska esimerkiksi erillistä laitetta kuorman suojaamiseen tarvitaan. Jokaista skip-lavaa ei kannata varustaa kansilla tai peitteellä, koska tämä olisi vähemmän ideaalinen ratkaisu, kuin yksi peitelaitte, joka peittää monta yksinkertaista la-

vaa. Avoimen lavan tai pelkän jättemateriaalin kuljettaminen umpinaisen kuormakorin sisällä poistaisi erillisen peitelaitteen tarpeen kokonaan. Edelleen esimerkiksi kuormatilan pohja voisi laskeutua maan tasolle, mikä helpottaisi kuorman lastaamista. Jos ensisijaisesti olisi haluttu kehittää konsepti-ideoita niin sanotusti puhtaalta pöydältä, ei olemassa oleviin ratkaisuihin olisi kannattanut tutustua etukäteen ollenkaan. Tällöin olisi toisaalta ollut riskinä jo keksittyjen asioiden uudelleenkeksiminen.

Mikäli toimeksiantaja haluaa kehittää työssä syntynyttä parasta konseptia eteenpäin nyt tai myöhemmin, kehitystyö ei oletettavasti sisällä suuria riskejä. Rakenteet ja toimitteet ovat tavallisia, eikä konseptilaitteen takia tarvitse tehdä suuria muutoksia nykyisenlaiseen skiploaderiin. Valmiin peitelaitteen hankkiminen toimeksiantajayrityksen skiploaderiin voi olla järkevä vaihtoehto, koska markkinoilla on tarjolla melko hyviä peitelaitteita. Tässä säästettäisiin oman konseptin yksityiskohtien kehittämisen kustannukset, mutta toisaalta valmiin laitteen sovittaminen vaatii työtä. Vaikka nyt valittaisiin valmis peitelaitte, mahdollisesti tulevaisuudessa tässä työssä suunnitellut konseptivaihtoehtot nostetaan uudelleen tarkasteluun. Tämä työ antaa lähtötiedot peitelaitteen kehitysprojektissa toimivalle henkilölle, mutta tarjoaa käyttökelpoisia työkaluja myös yleisesti konseptikehitystä tekeväälle.

Ennen kehitysprojehtin virallisten tavoitteiden asettamista pidettiin mahdollisena, että tämän diplomityön puitteissa edettäisiin tuotekehitysprosessissa yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja jopa laitteen valmistukseen asti. Suunnitteluvaatimukset kuitenkin osoittautuivat monimutkaisemmiksi kuin oli odotettu, ja jo työn alkuvaiheessa kävi selväksi, että työ kannattaa rajata päättymään konseptin valintaan. Mahdollisesti olisi tarvittu useampi kuin yksi suunnittelija kehittämään konsepteja ja peitelaitetta, jotta tavoiteaikataulun puitteissa olisi kyetty saamaan aikaan täysin uusi toimiva laite.

Lisäresursseja olisi tarvittu myös asiakasvaatimusten tarkempaan selvittämiseen. Työn alkuvaiheessa tiedettiin, mitä peitelaitetta jotkin skiploaderia käyttävät asiakkaat suosivat, mutta ei tiedetty miksi. Suosion tai epäsuosion syiden paljastaminen olisi mahdollisesti onnistunut etnografisella tutkimuksella, esimerkiksi menemällä asiakkaan mukaan työpäivän ajaksi ja seuraamalla toimintaa. Tällä tavoin voitaisiin päästä selville piilevistä vaatimuksista, jotka eivät esimerkiksi suorassa haastattelussa tule esille.

Vaatimusmäärittelyn jälkeen käytännön työssä keskityttiin konseptien vapaaseen ideointiin, kehitysprosessin teoreettisen tarkastelun jäädessä vähemmälle huomiolle. Järjestelmällisiä kehitysmenetelmiä ei noudateta sellaisenaan, vaan työssä hyödynnetään muutamia toimiviksi havaittuja työkaluja, esimerkiksi osia TRIZistä sekä ohjeita vaatimusmäärittelyn ja konseptien arvioinnin tekemiseen. Liian teoreettinen lähestymistapa voi jopa haitata varsinaista kehitysprosessia, jos teoriaa sovelletaan vain teorian soveltamisen takia.

Jos toimivia ideoita ja tuotteita syntyy vapaamuotoisesti, ei välttämättä tarvitse soveltaa tuotekehityksen teoriaa lainkaan. Kokenut suunnittelija voi esimerkiksi tehdä alitajuisesti ristiriitojen ja resurssien etsimistä, vastaavasti kuin TRIZissä. TRIZiin tutustuessaan työn tekijä havaitsi, että perusperiaatteiden ajatteleva ja soveltaminen tuli ajoittain osaksi jokapäiväistä elämää. Varsinkin olemassa olevia tuotteita tarkastellessa

ristiriitojen ja resurssien pohtiminen tapahtuu kuin itsestään. Tämänkaltaisen ajattelutapa voi kohtuullisin määrin käytettynä johtaa satunnaisiin toimiviin keksintöihin.

Työn aikana tekijä sai paljon käyttökelpoista uutta tietoa muun muassa erilaisista peitelaitteista, skiploadereista ja niihin soveltuvista toimilaitteista. Peitelaitteissa käytävät sähkömoottori ja vaihde -yksiköt soveltuvat oletettavasti moniin muihinkin sovel-luskohteisiin teollisuudessa ja liikkuvissa koneissa. Tutuiksi tulivat myös esimerkiksi erilaiset jouset ja vaijerityypit sekä niiden mitoitus.

Tämän diplomityön tekeminen auttoi huomaamaan, että olemassa oleva tieto kannattaa käyttää mahdollisimman tarkasti hyväksi uutta kehitettäessä. Alustavalla patent-tiselvityksellä voidaan löytää kilpailevia laitteita, selvittää tekniikan tasoa ja hakea ide-oita. Tämän lisäksi patenttiselvitys kannattaa tehdä myös aina, kun luulee keksineensä uuden idean. Kun yhdistellään luovasti ja ”poikkitieteellisesti” jo keksittyjä ideoita, voi-daan kehittää entistä parempia tuotteita.

LÄHTEET

A 4.12.1992/1257, Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, 47 § Kuorman varmistaminen. (1992).

AFNOR NF R17-106. (2001). Véhicules routiers - Bennes amovibles à portique - Dimensions fonctionnelles et spécifications générales. 11 p.

Agrifoto. (2.8.2014). IHF Panningen 2014 III [WWW]. Saatavissa (viitattu 29.1.2015): <http://www.agrifoto.nl/nieuws/log/5980>

Altshuller, G. (1996). And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving. Technical Innovation Center Inc. 171 p.

Armadillo Roll Top. Homepage [WWW]. Saatavissa (viitattu 3.12.2014): <http://www.armadillorolltop.com/index.html>

Belliveau, P., Griffin, A., Somermeyer, S. (2002). The PDMA ToolBook 1 for New Product Development. Wiley. 480 p.

Boughton Engineering. (January 2014). News, Boughton's new Power-Reach & Intacova 'Skips' a Generation [WWW]. Boughton Engineering Company website. Saatavissa (viitattu 13.2.2015): <http://www.boughtonengineering.com/news.asp>

Cargotec. (2014a). Yrityksemme [WWW]. Cargotec-yrityksen internet-sivut. Saatavissa (viitattu 5.12.2014): <http://www.cargotec.com/fi-fi/cargotec/yrityksemme/Sivut/default.aspx>

Cargotec. (2014b). Hiab [WWW]. Cargotec-yrityksen internet-sivut. Saatavissa (viitattu 5.12.2014): <http://www.cargotec.com/fi-fi/hiab/Sivut/default.aspx>

Cargotec. (2014c). Julkaisematon kuva Cargotecin sisäisessä käytössä. Raisio, Hiab tuotekehitysosasto.

Cargotec. (9.3.2012). Tuotetiedotteet, Trade press release, 9 march 2012 at 12:00 noon (eest) [WWW]. Cargotec-yrityksen internet-sivut. Saatavissa (viitattu 5.12.2014): <http://www.cargotec.com/fi-fi/uutishuone/tiedotteet/tuotetiedotteet/Sivut/introducing-the-new-hiab-multilift-skiploader.aspx>

Carolina Tarps. (2015). Electric Dump Truck Tarp System - Aluminum, 144" Underbody Spring Mount [WWW]. Saatavissa (viitattu 6.1.2015): <http://www.carolinatarps.com/item/10006#>

CHEM. (2015). CHEM - the trade association of manufacturers and suppliers of equipment to the waste industry [WWW]. CHEM association website. Saatavissa (viitattu 3.2.2015): <http://www.chem.uk.com/>

CHEM TS 14. (2000). Standard specifications of skip containers. Approved C.H.E.M. Meeting. 9 p.

Comission Regulation (EU) 1230/2012. (2012). Implementing Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council with regard to type-approval requirements for masses and dimensions of motor vehicles and their trailers and amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council. Saatavissa (viitattu 1.9.2014): <http://euroalert.net/en/ojeu.aspx?idd=25462>

DIN 30720-1. (2009). Behälter für Absetzkipperfahrzeuge- Teil 1: Behälter mit einem Nennvolumen bis 10 m³. Normenausschuss Kommunale Technik. 16 S.

DYD. (2014). Products, Tarp System Motors [WWW]. Dongyang City Dongzheng Motor Co company website. Saatavissa (viitattu 29.12.2014): http://www.dongyangmotor.com/Tarp_System_Motors.html

Espacenet. (2014). Patenttihakku [WWW]. Espacenet patenttitietokanta. Saatavissa (viitattu 27.10.2014): http://fi.espacenet.com/?locale=fi_fi

European Patent Office. (2014). Application deemed to be withdrawn [WWW]. Saatavissa (viitattu 27.10.2014): http://www.epo.org/law-practice/legal-texts/html/guidelines/e/a_iii_11_3_4.htm

FB Chain Group. (2014). Lube Free Chain [WWW]. FB Chain Group company website. Saatavissa (2.3.2015): viitattu <http://www.lubefreechain.com/>

Feyer, K. (2007). Wire Ropes: Tension, Endurance, Reliability. Springer-Verlag. Berlin. 316 p.

Gadd, K. (2011). TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving. Sussex UK, John Wiley & Sons. 504 p.

Harsh began 20 years ago by selling stabilised underfloor tipping. (2008) Commercial Motor magazine, 13.11.2008, p. 46. Saatavissa (viitattu 17.5.2014): <http://archive.commercialmotor.com/article/13th-november-2008/46/harsh-began-20-years-ago-by-selling-stabilised-und>

Harsh Ltd. (October 2010). News & Events: Todd Waste Management Chooses New Skip Equipment and Sheeting Mechanism from Harsh [WWW]. Harsh Company website. Saatavissa (viitattu 18.12.2014): <http://www.harshuk.com/news-items/october-10-todd.asp>

Hiab. (22.07.2013) Hiab's new skip loader demonstrator shows its versatility (News) [WWW]. Hiab UK local website. Saatavissa (viitattu 15.12.2014): <http://www.hiab.co.uk/About-us/News-and-media/News/?docId=66503>
 Hiab. (2014a). Hiab in brief [WWW]. Hiab global website. Saatavissa (viitattu 5.12.2014): <http://www.hiab.com/en/global/about-us/hiab-in-brief/>

Hiab. (2014b). Hiab Products [WWW]. Hiab global website. Saatavissa (viitattu 7.12.2014): <http://www.hiab.com/en/global/products1/demountables-10/multilift-10/products-8/selected-brand-multilift/>

Hiab. (2014c). Hiab UK Products [WWW]. Hiab UK local website. Saatavissa (viitattu 7.12.2014): <http://www.hiab.co.uk/Products/Demountables/?productGroupId=34441>

Hiab. (2014d). Skiploader Product Brochure pdf [WWW]. Hiab global website. Saatavissa (viitattu 15.12.2014): http://www.podshop.se/Links/12/PB-SLTSLF-EN-OS_L.pdf

Hipple, J. (2012). The Ideal Result, What It Is and How to Achieve It. New York, Springer. 201 p.

Hoerbiger. (2015). Personal restraint systems [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): <http://www.hoerbiger.com/en-279/pages/134>

HSE, UK Health and Safety Executive. (2014). Vehicles at work, Sheeting and Un-sheeting [WWW]. HSE website. Saatavissa (viitattu 17.12.2014): <http://www.hse.gov.uk/workplacetransport/information/sheeting.htm>

Hyva. (2013). News [WWW]. Hyva company website. Saatavissa (viitattu 27.6.2014): <http://www.hyva.com/co/en/news/hyva-set-to-launch-new-automatic-sheeting-system-at-ciwm/details/80.html>

Ilevbare, I., Probert, D., Phaal, R. (2013). A Review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. Tecnovation 33, 2-3, pp. 30-37.

Intercon Truck Equipment. Donovan Products, Tarps: Overall Brochure (pdf) [WWW]. Saatavissa (viitattu 2.6.2014): <http://www.intercontruck.com/products/donovan.html>

Interfluid Hydraulics. (2014). Hydraulic Cylinders 50mm Bore [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): http://www.interfluid.co.uk/store/hydraulic-cylinders-50mm-bore/cat_2.html

Katajainen, J., Product Manager, Cargotec Oyj, Raisio. (2014). Haastattelu 9.7.2014.

Koivukunnas, P. (2012). Patenttiedon hyödyntäminen tuoteideoiden arvioinnissa ja valinnassa. Helsinki, Uudenmaan ELY-keskus. 46 s. Saatavissa (viitattu 27.3.2014): lib.tkk.fi/CROSSOVER/2012/isbn9789526048086.pdf

Launis, M. & Lehtelä, J. (toim.). (2011). Ergonomia. Tampere, Tammerprint Oy. 406 s.

Lesjöfors. (2014). The Spring catalogue [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): http://www.lesjoforsab.com/teknisk-information/standard_stock_springs_catalogue_13_-_finnish_id1106.pdf

Machinery Directive 2006/42/EC. (2006). Directive 2006/42/EC of the European parliament and of the council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast). Saatavissa (viitattu 25.11.2014): http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/documents/legislation/machinery/index_en.htm

McGrath J., E. (1984). Groups: Interaction and Performance. New Jersey (US), Prentice-Hall Inc. 320 p.

Mekanex. (2015). Sähkökäyttöiset karamootorit teollisuuskäyttöön [WWW]. Saatavissa (viitattu 7.1.2015): http://www.mekanex.se/produkter/linjar/fi-elektriska_stalldon.shtml

Motte, D. (2008). A review of the fundamentals of systematic engineering design process models. International Design Conference - Design 2008 (in: Proceedings of the Design 2008 : 10th International Design Conference), Dubrovnik, Croatia, 19.-22.5.2008. pp. 199-210.

mrw. (2014). The recycling and waste management magazine, buy and sell. Transcover - V-Cover Skip Sheeting System [WWW]. Saatavissa (viitattu 10.8.2014): http://classified.mrw.co.uk/advert-detail/1167/transcover_-_v-cover_skip_sheeting_system

Mylläri, E., Product Manager. (syyskuu 2014). Käytettävät skip-lavojen koot Iso-Britanniassa. Raisio, Cargotec Oyj, Multilift. Sisäinen sähköpostiviestintä (Jussi Katajainen vastaanottanut viestin Englannin myyntiyhtiöltä, Esa Mylläri välittänyt tiedon eteenpäin).

Otto, K., Wood, K. (2001). Product Design, Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. New Jersey (US), Prentice-Hall Inc. 1071 p.

Oxford Creativity. (2014). 40 Principles [WWW]. Saatavissa (viitattu 24.11.2014): http://www.triz.co.uk/files/U48432_40_inventive_principles_with_examples.pdf

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H. (2007). Engineering Design, A Systematic Approach. UK London, Springer-Verlag. 617 s.

Parlato, B. (9.7. 2013). Flexible rotary shaft operation, uses, and advances [WWW]. Machine Design. Saatavissa (viitattu 8.1.2015): <http://machinedesign.com/mechanical-drives/flexible-rotary-shaft-operation-uses-and-advances>

Patentti- ja rekisterihallitus. (2003). Patenttiopas [WWW]. Saatavissa (viitattu 26.11.2014): www.prh.fi/stc/attachments/Patenttiopas_2003.pdf

Pat. DE 102012102049. (12.9.2013). Cover device for covering open top of tub-shaped loading space of lorry that is utilized for transporting chopped biomass, has winding roller moved on outer side of loading space towards or away from space in longitudinal direction. Oberleitner Windschutz GmbH & Co Kg, DE. (Oberleitner, F.). Hak.nro DE 201210102049, 12.3.2012. 7 S.

Pat. EP 1279538. (29.1.2003). Container cover (skip). Wood, R., US. Hak.nro EP 20020255154, 23.7.2002. 12 p.

Pat. EP 1375224. (26.5.2004). Gas spring and air cylinder for lifting a variable height roller assembly. Wood, R., US. Hak.nro EP 20030253803, 18.6.2006. 10 p.

Pat. EP 1964703. (18.11.2009). Apparatus for enclosing vehicle transported material. Harsh Ltd, GB. (Hinds, C., Hargreaves, A., Speck, S.) Hak.nro EP 20080250674, 28.2.2008. 11 p.

Pat. EP 2468549. (27.6.2012). A covering system for skip containers. Hines, S., GB. (Watson, D.) Hak.nro EP 20100012746, 22.12.2010. 6 p.

Pat. FI 100872. (13.3.1998). Ajoneuvon lavan peittämislaitte. Pettersson, K., FI. Hak.nro FI 19960003691, 18.9.1996. 23 s.

Pat. FR 2752787. (6.3.1998). Vehicle cover deployment and retraction mechanism. Sauvion, J., P., FR. Hak.nro FR 19960010997, 4.9.1996. 22 p.

Pat. GB 2288581. (25.10.1995). Load covers for long vehicles. Boughton T T sons Ltd, GB. (Boughton, T.) Hak.nro GB 19950007758, 13.4.1995. 16 p.

Pat. US 1717898. (18.6.1929). Attachment for laterally-swinging awning arms. Summers, J., US. Hak.nro US 19260143821, 25.10.1926. 3 p.

Pat. US 2009322116. (31.12.2009). Device for Opening and Closing of Tarpaulins for Covering the Bodies of Industrial, Agricultural and Similar Vehicles. Trakover Srl, IT. (Pivetto, C.). Hak.nro US 20060063187, 4.8.2006. 9 p.

Pat. US 4023857. Tensioned and retractable truck body tarpaulin. Killion, R., US. (Killion, D.) Hak.nro US 19750571081, 24.4.1975. 7 p.

Pat. US 4082347. (4.4.1978). Cover assembly. Toneray Covers Inc., US. (Petretti, R.). Hak.nro US 19760745061, 26.11.1976. 9 p.

Pat. US 5944374. (31.8.1999). Hinge for a truck bed cover bow. Searfoss, T., US. Hak.nro US 19970868371, 3.6.1997. 5 p.

Power Pro Tarping Systems. (2012). Tarp Motors [WWW]. Saatavissa (viitattu 29.12.2014): <http://powerprotarpingsystems.net/page6.html>

Pugh, S. (1990). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley. 296 p.

Rantanen, K. (2002). TRIZ-menetelmän hyödyntäminen tuotekehityksen ajatusmallina. Teknologiainfo Teknova Oy. 129 s.

Rantanen, K., Domb, E. (2008). Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals, Second Edition. Boca Raton (FL), Auerbach Publications. 272 p.

Rantanen, K. (1997a). Fysikaalinen ristiriita [WWW]. Saatavissa (viitattu 26.6.2014): <http://www.kolumbus.fi/kalran/kapl2.htm>

Rantanen, K. (1997b). Ideaaliratkaisu kompromissin sijasta [WWW]. Saatavissa (viitattu 26.6.2014): <http://www.kolumbus.fi/kalran/kakspl.htm>

- Rantanen, K. (1997c). Kehityslait [WWW]. Saatavissa (viitattu 26.6.2014): <http://www.kolumbus.fi/kalran/fitrend.htm>
- RGBstock, free stock photos. (2014). A photo [WWW]. Saatavissa (viitattu 4.12.2014): <http://m.rgbimg.com/cache1q1Ft1/users/t/ta/tacluda/600/mTMUOOA.jpg>
- Road Vehicles (Construction and Use) Regulations, 1078/1986. (1986). Saatavissa (viitattu 14.7.2014): <http://www.legislation.gov.uk/uksi/1986/1078/contents/made>
- Sampo Rosenlew. (2014). Leikkuupuimurit, Comia-sarja [WWW]. Saatavissa (viitattu 29.1.2015): <http://www.sampo-rosenlew.fi/fi/tuotteet/leikkuupuimurit/comia-mallit/comia-mallit-.html>
- Shur-Co UK. (2014a). Skip loader sheeting systems, Skip 9000 [WWW]. Shur-Co Company website. Saatavissa (viitattu 27.6.2014): <http://shurco.co.uk/sheeting-systems/skiploaders/skip-9000/>
- Shur-Co UK. (2014b). Skip loader sheeting systems, Xcalibur Automatic parts (pdf) [WWW]. Shur-Co Company website. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): <http://shurco.co.uk/?wpdmact=process&did=MTMuaG90bGluaw==>
- Shur-Co UK. (2014c). Mighty Mesh® Tarpaulin Sheet for Trucks, Trailers, Hooks and Skips [WWW]. Shur-Co Company website. Saatavissa (viitattu 7.1.2015): <http://shurco.co.uk/tarps-truck-sheets/mighty-mesh/>
- Shur-Co UK. (2014d). Skip loader sheeting systems, Xcalibur Automatic Skiploader Installation Instructions (pdf) [WWW]. Shur-Co company website. Saatavissa (viitattu 4.2.2015): <http://shurco.co.uk/?wpdmact=process&did=MTIuaG90bGluaw==>
- Shurco UK Ltd. (2014). Skip 9000 picture [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.9.2014): <https://pbs.twimg.com/media/Bq45UrgCAAE1e-7.jpg:large>
- Sixtek. (3.1.2015). Hydraulikoneikot, 12/24V tasavirtakoneikot [WWW]. Hydrauliiikka-pumppu.fi -verkkokauppa. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): http://www.hydrauliiikkapumppu.fi/kauppa/product_catalog.php?c=15
- SP-Elektroniikka. (7.1.2015). Sähkömagneetit [WWW]. Saatavissa (viitattu 8.1.2015): <http://www.spelektroniikka.fi/tuotteet/solenoidit-sahkomagneetit-moottorit-sahkomagneetit>
- Superwinch. (2014) Power Drive Geared Motors [WWW]. Saatavissa (viitattu 29.12.2014): <http://www.innovation-engineering.co.uk/powerdrives.htm>

Teräväinen, E. (2005). Cargotec – Siellä missä tavara liikkuu. Helsinki, Cargotec. 135 s.

Thompsons. (2014a). Xcalibur Automatic Sheeting System [WWW]. Saatavissa (viitattu 20.8.2014): <http://www.thompsonseparts.co.uk/sheeting-systems/excalibur-automatic-sheeting-system.html>

Thompsons. (2014b). Donovan 22-Coil Underbody Spring Only (Drivers Side) [WWW]. Saatavissa (viitattu 6.1.2015): <http://www.thompsonseparts.co.uk/donovan-22-coil-underbody-spring-only-passenger-side-1325.html>

Thompsons. (2014c). Skip 9000 electric skip covering system [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.2.2015): <http://www.thompsonseparts.co.uk/skip9000-electric-skip-covering-system.html>

Transcover. (2014). Products, V-Cover [WWW]. Transcover company website. Saatavissa (viitattu 27.6.2014): <http://www.transcover.com/skips/v-cover/>

Transcover. (2015). Products, Skip-Cover [WWW]. Transcover company website. Saatavissa (viitattu 5.1.2015): <http://www.transcover.com/skips/skipcover/>

Ulrich, K., Eppinger, S. (2008). Product Design and Development. Singapore, McGraw-Hill Education. 368 p.

United Nations Economic Commission for Europe. (1958). UN Vehicle Regulations, Regulation No. 058 - Revision 2, Rear underrun protective devices (RUPDs). Saatavissa (viitattu 14.7.2014): <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs41-60.html>

US Tarp. (2014). Replacement Tarp System Parts [WWW]. Saatavissa (viitattu 29.12.2014): <http://www.ustarp.com/#!/replacement-parts/c1erv>

VDI 2700 Blatt 17. (2009). Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen - Ladungssicherung von Absetzbehältern auf Absetzkipperfahrzeugen und deren Anhängern. Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure. 15 S.




Vehicle Certification Agency (VCA), United Kingdom Department for Transport. (2014). Type Approval for Goods Vehicles [WWW]. Saatavissa (viitattu 15.7.2014): <http://www.dft.gov.uk/vca/vehicletype/type-approval-for-go.asp>

LIITE 1: PEITELAITTEITA

lähdeviitteitä käytetty huhtikuussa 2014

Valmistaja	Boughton Engineering (UK) Intacova	Hyva (NL) Skiploader Autosheet System	Transcover (UK) VCover
	 <p>lähde: http://www.boughtonengineering.com/news.asp</p>	 <p>lähteet: http://skiphiremagazine.co.uk/products/auto_skip_sheeting_system_prov/ http://www.hyva.com/uk/en/sheeting-systems.htm http://www.hyva.com/co/en/news/hyva-set-to-launch-new-automatic-sheeting-system-at-ciwm/details/80.html </p>	 <p>lähteet: http://www.transcover.com/skips/v-cover/ (→ pdf-tiedostot → brochure ja advantages) </p>
perusidea	- varret kahdella nivelellä	- nivelöity, kääntyvä kehikko	- V-mallinen, nivelöity, kääntyvä kehikko
käyttövoima/toimilaitteet	- 4 hydraulisynteriä (kaksi paria) - liitetty skiploaderin hydraulijärjestelmään - käyttö kahdella vivulla (propo-venttiili) - skiploaderin vipujen yhteydessä - vääntöjousi rullan sisällä	- vääntöjouset varsien nivelessä (ei spiraali) - hydraulimoottori rullan kelauksessa - liitetty skiploaderin hydraulikkaan - käyttö vivulla ulkona - hydraulisynteri rullan korkeussäädössä	- 6 vääntöjousta/puoli (clock spring) - sähkömoottori+vaihde -yksikkö rullan kelauksessa (24 V direct drive worm gear unit, Superwinch) - tornin (optio) korkeussäätö sähköisesti? - ohjauskytkimet ohjaamon ulkopuolella
rulla/peite	- varsiston päässä - peite kiinni alhaalla cab guardissa - nyloniset ohjainrullat rullan päissä - peite ei hankaudu kuormaa vasten (samoin muissa, joissa rulla liikkuu) - poikittaistuki rullan vieressä	- ohjaamon takana - korkeussäätö - PVC - kiristysnaru peitteen reunassa, narun lenkki asetetaan lopuksi koukkuun skiploaderin ta- kaosassa	- ohjaamon takana vakiona kiinteästi - optiona korkeussäätö - 1100 denier skrim tarp, 2x2 PVC wear points - lisäläppä takana pienille lavoille - laskosteut sivuliepeet korkeita tai hankalan muotoisia kuormia varten - jonkinlainen "quickslide" pika-asennus
materiaali	- oletettavasti teräs, SHS	- oletettavasti teräs, RHS tai SHS	- oletettavasti teräs, pyöreä putki
kattavuus	- 4-16 yd ³ (3.06 -12.23 m ³) - "all common usage containers"	?	- 12 yd ³ (n. 9 m ³) asti vakiona - optional tower upgrade → 16 yard asti
nopeus	- @1500 rpm sheet or unsheet 24 s - tyhjäkäynnillä 31 s	- "allows drivers to fully sheet a bin in under a minute" (toinen lähde: alle 40 s)	- alle 10 s
lanseeraus	vuonna ?	- 2008 laite on ollut uusi	?
hinta	?	?	£1,250.00 (http://classified.mrw.co.uk/advert-detail/1167/transcover_-_v-cover_skip_sheeting_system)
hyvää	- pidetään luotettavana ja toimivana laitteena (asiakkaat tyytyväisiä) - näyttää hyvin viimeistellyltä - integroitu Boughton-skiploaderin muotoihin ja ulkomittoihin - retrofit mahdollinen ("assembly only operation", ei siis esim. porausta tai hitsausta)	- siisti kokonaisuus - retrofit mahdollinen kaikkiin merkkeihin ja malleihin (tod. näk. mm. hitsaamista) - ei tarvetta erilliselle sähköhydrauliselle yksikölle - näyttää kevyeltä - sisältyy skiploaderin ulkomittoihin	- kekseliäs peitteen kiristys kehikon toisella osalla - slim design ja todennäköisesti kevyt - nopea - retrofit mahdollinen (mm. kuitenkin hitsausta) - halpa myyntihinta (n. 1540 €)
kritiikkiä	- melko hidas - käyttäjä joutuu kontrolloimaan varsiston liikettä (kiertymiset kahden nivelen ympäri) - paljon osia ?	- suuri tilantarve korkeussuunnassa käytön yhteydessä - varret ja kiinnityskorokkeet haittaavat skiploaderin päällä operoimista - melko hidas - ei peitä edestä alhaalta "tiivisti"	- suuri tilantarve korkeussuunnassa - kehikko maalaamattomana puolivalmiin näköinen, näyttää halvalta - varret ja kiinnityskorokkeet haittaavat skiploaderin päällä operoimista
muuta	- leveys 2550 mm Intacovan kanssa (nosto- varsien ulkoleveys noin 75 mm Multiliftin laitetta kapeampi)	- universaali (mutta Hyva on myös skiploader- valmistaja)	- universaali - patenttihakemus kehikon V-muodosta - jousilla ikuinen takuu, moottorilla 3 vuotta

Valmistaja	Transcover (UK) SkipCover	Shur-Co (UK) Xcalibur Automatic	Shur-Co (UK) Skip 9000 Sheeting System
			
Ominaisuus	<p>lähde: http://www.transcover.com/skips/skipcover/ (→(linkit pdf-tiedostoihin → brochure, advantages ja installation))</p>	<p>lähteet: http://www.donovantarp.co.uk/skip-xcalibur-information.asp http://www.thompsonseparts.co.uk/sheeting-systems/excalibur-automatic-sheeting-system.html</p>	<p>lähteet: http://www.donovantarp.co.uk/skip-skip9000-gallery.asp http://shurco.co.uk/sheeting-systems/skiploaders/skip-9000/ http://www.thompsonseparts.co.uk/sheeting-systems/skip-9000-sheeting-system.html</p>
perusidea	- varret kahdella nivelellä	- varret kahdella nivelellä	- nivelöity (nivel alhaalla), kääntyvä kehikko
käyttövoima/toimilaitteet	<ul style="list-style-type: none"> - erillinen sähkömoottori+pumppu -yksikkö - 4 hydraulisylinteriä (kaksi paria) - ohjaus kahdella vivulla ulkona - erillinen on/off kytkin pumppuyksikölle 	<ul style="list-style-type: none"> - auton hydraulikka - 4 hydraulisylinteriä (kaksi paria) - ohjaus: kaksi vipua vakiona, "joystick control valve" optiona (yksi vipu) 	<ul style="list-style-type: none"> - sähkömoottori liikkuvassa kehikossa - vääntäjät poikittain skiploaderin sivupalkkien alla kehikon liikuttamisessa
rulla/peite	<ul style="list-style-type: none"> - varsiston päässä - jousijännitteinen - oma uritettu rullaputkidesign ("fast sheet changes") - laskosteut sivuliepeet korkeita tai hankalan muotoisia kuormia varten - toinen poikittaistuki rullan vieressä (edellä) 	<ul style="list-style-type: none"> - mighty mesh (mainostetaan markkinoiden kestävimpänä peitteenä) - saatavilla muitakin materiaaleja - pitkittäisura rullaputkessa, johon peitteen reuna liu'utetaan, putken Ø 5" - jousijännitteinen - peitteessä "view window" (harvempi kohta) - "ratchet tensioning device" → helppo jousen säätö - toinen poikittaistuki rullan vieressä (edellä) 	<ul style="list-style-type: none"> - rulla kiinni kehikossa - alumiininen rullaputki Ø n. 60 mm - saatavilla eri värisiä peitteitä - "easy tarp replacement" - Mighty Mesh optiona 
materiaali	- oletettavasti teräs, RHS tai SHS	- oletettavasti teräs, RHS tai SHS	- oletettavasti teräs, pyöreä putki
kattavuus	- "covers all size containers"	todennäköisesti vastaava kuin Intacova	- peittää alle 12yd^3 lavat (10 m^3)
nopeus	- alle 20 sekuntia peittämiseen	?	- peittää alle 10 sekunnissa
lanseeraus	? (perustuu vanhaan AutoCover-laitteeseen)	?	?
hinta	?	£2,800.00 (2. yllä olevista lähteistä, myös osien hintoja)	£1,500 (http://skipnets.co.uk/sheeting-systems)
hyvää	<ul style="list-style-type: none"> - näyttää toimivalta, selkeä rakenne - näyttää halvemmalta kuin Intacova - sopii moniin eri skiploadereihin - pivot mounts ja arm rests samassa osassa → ei säätämistä asennusvaiheessa - rasvattavat tapit nivelissä (toisaalta ylimääräistä työtä) - retrofit mahdollinen 	<ul style="list-style-type: none"> - muistuttaa SkipCoveria, kuitenkin hieman viimeistellymmän näköinen - ohjainlevyt toisissa varsissa - retrofit mahdollinen 	<ul style="list-style-type: none"> - pienehkö tilantarve korkeussuunnassa - yksinkertainen rakenne, vähän liikkuvia osia - taivutettu kehikko istuu paremmin sl: muotoon ja nivelpiste alhaalla - kevyen näköinen - jousien käyttö - ei hydraulikkaa - retrofit mahdollinen
kritiikkiä	<ul style="list-style-type: none"> - paljon osia ? - käyttäjä joutuu kontrolloimaan varsiston liikettä - päälleliimattun näköinen, ei integroitu sl:n muotoon yhtä hyvin kuin Intacova - ylittää skiploaderin leveyden 	<ul style="list-style-type: none"> - paljon osia ? - käyttäjä joutuu kontrolloimaan varsiston liikettä - päälleliimattun näköinen, ei integroitu sl:n muotoon yhtä hyvin kuin Intacova - ylittää skiploaderin leveyden - varsien takatuet erillään pivot mounteista (vrt. SkipCover) 	<ul style="list-style-type: none"> - maalaamaton kehikko näyttää puolivalmiilta - kalliimpi kuin VCover - ylittää skiploaderin leveyden - peite levitettynä kehikko ylittää auton takaosan noin 50 cm - ei pysty peittämään yli 10 m^3 lavoja
muuta	<ul style="list-style-type: none"> - universaali - asennus onnistuu päivässä mainoksen mukaan - 1 vuoden takuu kaikella, peitteellä 90 pv 	<ul style="list-style-type: none"> - universaali - Shur-Co ja Donovan samaa firmaa http://www.youtube.com/watch?v=oXN1ahzYvGI 	<ul style="list-style-type: none"> - jousilla ikuinen takuu, moottorilla 3 vuotta - Shur-Co ja Donovan samaa firmaa https://www.youtube.com/watch?v=QKxZWE3HtCO

Valmistaja	Harsh (UK) Skip Flip 	VBK Covering (NL) VDC-300 	Euro Skips (UK) Sheeting System 
	Ominaisuus lähteet: http://www.harshuk.com/sheeting-systems-medium-duty-skiploaders.asp http://skiphiremagazine.co.uk/skip_hire_industry_news/skip_flip_a_big_hit/	lähde: http://www.vbkcovering.nl/engels/vdc300.php	lähde: http://www.euroskips.co.uk/sheeting-system/
perusidea	<ul style="list-style-type: none"> - varret kahdella nivelellä - rakenne on samankaltainen kuin Xcalibur ja SkipCover 	<ul style="list-style-type: none"> - nivelöity, kääntyvä kehikko 	<ul style="list-style-type: none"> - nivelöity, kääntyvä kehikko
käyttövoima/toimilaitteet	<ul style="list-style-type: none"> - auton hydrauliiikka - 4 hydraulikkasynterit (kaksi paria, joista toiset sl:n alapalkkien sisäpuolella) - käyttö ulkona vivulla tai vivuilla 	<ul style="list-style-type: none"> - rullatelineen korkeussäätö näyttää toimivan hydraulisynterillä - peitteen kelaus sähkömoottorilla (vastaava kuin laitteessa Skip 9000) - varsien taitto vääntöjousilla 	<ul style="list-style-type: none"> - auton hydrauliiikka - myös sähkötoimilaitteita - rullan pyöritys sähkö- tai hydraulimoottorilla - rullan korkeussäätö sähköllä tai hydraulilla - ohjaus ulkona ("with remote control operation"?) - vääntöjouset varsien taitossa
rulla/peite	<ul style="list-style-type: none"> - rulla varsiston päässä - jousijännitteinen - toinen poikittaistuki rullan vieressä (edellä) 	<ul style="list-style-type: none"> - rulla ohjaamon takana - korkeussäätö - peitteessä lisäosa takana - "small mesh tarp" - Roll Rite osia (US) 	<ul style="list-style-type: none"> - ohjaamon takana - korkeussäätö - laskosteut sivuliepeet korkeita tai hankalan muotoisia kuormia varten - "super-mesh material"
materiaali	<ul style="list-style-type: none"> - oletettavasti teräs, RHS tai SHS 	<ul style="list-style-type: none"> - oletettavasti alumiini 	<ul style="list-style-type: none"> - oletettavasti alumiini tai teräs
kattavuus	<ul style="list-style-type: none"> - "sheeting skips of all sizes" 	<ul style="list-style-type: none"> - oletettavasti laaja, koska universaali malli ja rullan korkeussäätö 	<ul style="list-style-type: none"> - "Capable of covering containers of various sizes, heights and lengths"
nopeus	<ul style="list-style-type: none"> - "Operators are reporting an extra skip a day due to the speed of operation." 	<ul style="list-style-type: none"> - ? 	<ul style="list-style-type: none"> - "25 seconds to extend and retract"
lanseeraus	<ul style="list-style-type: none"> - 2007 laite on ollut uusi 	<ul style="list-style-type: none"> - ? 	<ul style="list-style-type: none"> - ?
hintaa	<ul style="list-style-type: none"> - "the Skip Flip sheeting system will have paid for its self before the vehicles 1st service" 	<ul style="list-style-type: none"> - ? 	<ul style="list-style-type: none"> - ? (näyttää saman hintaluokan laitteelta kuin esim. VCover)
hyvää	<ul style="list-style-type: none"> - varret kotiasennossa myötäilevät sl:n muotoja, kuitenkin päälle liimattu -vaikutelma - alemmat synterit piilotettu - retrofit mahdollinen (helposti Harshin skip-loaderiin, mutta myös useimpiin muihin) - ohjainlevyt toisissa varsissa - hyvin viimeistellyn näköinen 	<ul style="list-style-type: none"> - näyttää tukevalta ja toimivalta - jousien käyttö - alumiiniprofiilien käyttö (voi olla jäykempi kuin vastaavan kokoinen tavallinen teräsputki) - vähäinen huollon tarve ? 	<ul style="list-style-type: none"> - jousien käyttö - vähäinen huollon tarve ?
kritiikkiä	<ul style="list-style-type: none"> - paljon osia ? - käyttäjä joutuu kontrolloimaan varsiston liikettä - ylittää skiploaderin leveyden 	<ul style="list-style-type: none"> - rulla ei laske riittävän alas → matalimpien lavojen etureuna ei peity kunnolla - kehikko laskeutuu vain vaakatasoon asti → takaosan peittäminen ylimääräisellä liepeellä - ylittää skiploaderin leveyden - varret ja kiinnityskorokkeet haittaavat skiploaderin päällä operoimista 	<ul style="list-style-type: none"> - ylittää skiploaderin leveyden - enemmän liikkuvia osia kuin VCover:ssa - rulla ei laske kovin alas → matalien lavojen puutteellinen peittäminen - varret ja kiinnityskorokkeet haittaavat skiploaderin päällä operoimista
muuta	<ul style="list-style-type: none"> - universaali (kuitenkin ensisijaisesti Harsh skiploaderin yhteyteen tarkoitettu) - "1st automated sheeting system designed and manufactured in the UK" - patenttihakemus (deemed to be withdrawn) 	<ul style="list-style-type: none"> - universaali - "high-quality covering system tailor-made for skip loader vehicles" 	<ul style="list-style-type: none"> - universaali

LIITE 2: TRIZ 40 LUOVAA PERIAATETTA

1. Kohteen jakaminen (Jaetaan kohde osiin tai lisätään segmentaatiota. Esim. minirobotit yhden ison sijaan, monimoottorinen lentokone)

2. Osan erottaminen (Poistetaan häiriötä aiheuttava osa kohteesta, tai erotetaan tärkein osa kohteesta. Esim. keskus-pölynimuri, pelkkä vahtikoiran ääni ilman koiraa)

3. Paikallinen laatu (Muutetaan kohteen rakenne yhtenäisestä ei yhtenäiseksi, muutetaan ulkoinen ympäristö (tai vaikutus) yhtenäisestä, ei yhtenäiseksi. Esim. täsmäviljely, jääkaapin pakastelokero, Sveitsin linkkuveitsi)

4. Epäsymmetrisyys (Muutetaan kohteen muoto symmetrisestä epäsymmetriseksi, tai lisätään sen epäsymmetrisyyttä. Esim. Fiskarsin sakset, tasopinta akselissa kiristystä varten)

5. Yhdistäminen tai sulauttaminen (Tuodaan lähekkäin tai yhdistetään samanlaiset osat, tai kootaan ne tekemään yhtäaikaista toimintoja. Esim. moniydinprosessori)

6. Monimuotoisuus, universaalisuus (Tehdään osat tai rakenne suorittamaan useita toimintoja, eliminoidaan muiden osien tarve. Esim. lämmitettävä tuulilasi, profiloitu teräslevy sekä muottina että raudoituksena, aurinkokennot kattotiilinä, akkukäyttöiset monitoimityökalut)

7. Sisäkkäin sijoittaminen (Sijoitetaan kohteet sisäkkäin, laitetaan jokainen osa järjestyksessä sisäkkäin. Toinen systeemi asetetaan toisen sisään tai kulkemaan toisen läpi. Esim. teleskooppi, kelautuva johto, rullamitta)

8. Vastapaino, noste, painottomuus (Kompensoidaan kohteen paino, tai yhdistetään se toisen osan kanssa joka tarjoaa nostetta. Esim. kelluvat asiat, lentolaitteet, maglev-juna)

9. Vastavaikutus etukäteen (On tarpeellista tehdä vaikutus kumpaankin hyödylliseen ja haitalliseen liikkeeseen, haitallinen liike tulee korjata vastavaikutuksella. Esim. paperikoneen telaan koneistetaan systemaattinen poikkeama, joka on vastakkainen asennuksessa tapahtuvalle muutokselle)

10. Vaikutus etukäteen (Tehdään etukäteen tarvittava muutos tai vaikutus. Esim. paperin perforoiminen eli rullalla arkit on melkein katkaistu valmiiksi)

11. ”Turvatyyny” (Valmistellaan etukäteen toiminnot häiriöiden varalta tai kompensoimaan alhaista luotettavuutta. Esim. turvatyyny, sulake, varoventtiili, automaattitallennus)

12. Tasapotentiaali (Minimoidaan työtä kenttää vastaan esimerkiksi muuttamalla toimintaolosuhteita. Esim. jousijännitteiset osat, kanavien sulut, laskeva esine nostaa nousevan)

13. Päinvastoin (Käännetään ongelman ratkaisu päinvastoin. Esim. tehdään liikkumattomista osista liikkuvia, näytön suurentamisen sijaan tuodaan mikronäyttö lähelle silmää, tuulitunneli, rullaportaat)

14. Pallot ja käyrät (Käytetään suorien pintojen sijaan kaarevia pintoja ja pyöristettyjä muotoja, lineaarisesta liikkeestä kiertävään, käytetään keskipakovoimaa. Esim. kaaret ja kupolit ovat lujuuden kannalta edullisia, sykloni, ruuvi)

15. Dynamisointi (Muuttuvat systeemin ominaisuudet, tehdään staattisesta objektista liikkuva. Esim. muistimateriaalit, tiehen mukautuva auton alusta, taiteltava tuoli)

16. Osittainen tai ylimääräinen vaikutus (Jos on vaikea tehdä jotain sataprosenttisesti, tehdään hiukan vähemmän tai enemmän ja mahdollisesti myöhemmin tähdätään täydelliseen suoritukseen. Esim. ensin karkea koneistus ja sitten viimeistely haluttuun mittaan)

17. Toinen ulottuvuus (Muutetaan kohdetta tai jotakin kulkua kaksiulotteisesta kolmiulotteiseen tilaan. Siirretään kohdetta avaruudessa, muutetaan sen asentoa, käytetään toista puolta. Esim. jätetastia maan sisässä, kierreportaat)

18. Mekaaninen värähtely (Laitetaan kohde värähtelemään, muutetaan värähtelyn lähdettä tai värähtelytapaa. Esim. ulträänimoottori, poravasara, äänirauta)

19. Jaksottainen vaikutus (Jatkuvan vaikutuksen sijaan muutetaan vaikutus jaksottaiseksi tai muutetaan jaksotusta tai laitetaan taukoja pulssien väliin. Esim. yösähkö lämmityksessä ja pumppuvoimaloissa, toistuva vasarointi, ABS, energian varastointi)

20. Jatkuva vaikutus (Saatetaan kaikki osat työskentelemään täydellä työmäärällä koko ajan poistetaan tai käytetään hyödyksi turhat tauot. Esim. jatkuvat prosessit, vauhtipyörä)

21. Yli hyppääminen, kiirehtiminen (Tietyt prosessin vaiheet, esim. vaaralliset tai haitalliset, toteutetaan hyvin nopeasti. Esim. ohitetaan resonanssitaajuuudet nopeasti)

22. Haitta hyödyksi (Käännetään häiritsevät tekijät hyödyksi tai kompensoidaan toisella häiriöllä, lisätään häiritsevää vaikutusta kunnes se lakkaa olemasta häiritsevää. Esim. staattisen sähkönsä sovellukset, paine-eron hyödyntäminen)

23. Palaute (Tarkastellaan edellisiä vaiheita tai tiloja. Esim. termostaatti, pakokaasua mittaava moottorinohjaus)

24. Välittäjä (Käytetään välittäjää kantamaan jotakin tai käytetään välittäjäprosessia. Esim. vesihaudekattilassa vesivaippa siirtää lämpöä hallitusti sisempään kattilaan, taltta)

25. Itsepalvelu (Kohde itse tekee hyödyllisiä avustavia tehtäviä. Hyödynnetään jätteenä ja hukkaenergiaa. Esim. itsensä korjaava autonrengas, kompostointi)

26. Kopiointi (Vaikeasti saatavan, hauraan tai kalliin kohteen sijasta halpa ja yksinkertainen kopio. Esim. virtuaalimallit suunnittelussa, replica-tuotteet)

27. Halpa ja lyhytikäinen (Korvataan kallis osa useilla halvalla osilla uhraamalla tiettyjä ominaisuuksia kuten esimerkiksi käyttöikä. Esim. kertakäyttöastiat ja -tekstiilit)

28. Korvataan mekaaninen systeemi muilla vuorovaikutuksilla. (Hyödynnetään magnetiikkaa tai sähkömagnetiikkaa ja muuttuvia kenttiä. Käytetään vaikutusta yhdessä vaikutukseen reagoivan aineen kanssa. Esim. infrapunasäde ohjauksissa, magneettipumppu, sormenjälkitunnistus)

29. Pneumatiikka ja hydraulikka (Käytetään kiinteiden osien sijaan kaasua tai nestettä. Esim. kuplahalli, ilmatyyny-alue, geelitäyteinen polkupyörän satula)

30. Joustavat kuoret ja ohuet kalvot (Käytetään joustavia rakenteita ja ohuita kalvoja kolmiulotteisten rakenteiden sijaan. Esim. harsot pelloilla, autojen peitteet, kutistemuovi, paineakut, teepussi)

31. Huokoiset materiaalit (Tehdään kohteesta huokoinen, lisätään huokoinen elementti tai päällyste. Hyödynnetään huokoisuutta paremmin. Esim. vaahtometallit, hengittävät materiaalit, rei'itetyt rakenteet painon säästämiseksi)

32. Värimuutokset (Vaihdetaan kohteen tai ulkoisen ympäristön väriä tai läpinäkyvyyttä. Esim. bioluminesssi, väriä

muuttava aine lämpötilan indikaattorina, valon mukaan tummeneva lasi)

33. Homogeenisuus (Tehdään vuorovaikuttavista systeemeistä samankaltaisia. Esim. astia ja sisältö samasta materiaalista kemiallisten reaktioiden välttämiseksi)

34. Hävittäminen ja palauttaminen (Hankkiudutaan eroon osista jotka ovat jo täyttäneet tehtävänsä tai palautetaan toiminnassa kuluvia osia. Esim. sulaminen, liukeneminen, haihtuminen tai vaihtoehtoisesti aineen regenerointi prosessin aikana. Esim. biohajoavat materiaalit, itseteroittuvat terät)

35. Parametrien muutokset (Muutetaan kohteen olomuotoa, konsentraatiota, joustavuutta, lämpötilaa, painetta tms.. Esim. pulverimaali, vesiviljely, vulkanoituva kumi, painekattila)

36. Faasimuutokset (Hyödynnetään faasimuutoksia, kuten tilavuuden vaihtelu, lämmön vaihtelu. Esim. palosuojamaalit, jotka paisuvat kuumuuden vaikutuksesta, lämpöpumput, sup-rajoitavuus)

37. Lämpölaajeneminen (Hyödynnetään lämpölaajenemista tai -supistumista. Esim. puristusovite, kutistemuovi, bimetalli liuskat termostaateissa)

38. Vahvat hapettimet (Tavallisesta ilmasta siirrytään vahvoin hapettimiin kuten hapella rikastettuun ilmaan, hapteen tai otsoniin. Esim. haavojen paranemisen nopeuttaminen hapella, happi-asetyleeni -polttoleikkaus, otsonipuhdistus)

39. Inerttinen ympäristö (Inerttinen ei reagoi muiden aineiden kanssa. Korvataan normaali ympäristö inerttisellä. Esim. MIG/TIG-hitsaus, vakuumpakkaukset)

40. Komposiitit (Esim. ontelokomposiitti, teräsbetoni, teräsvahvistettu kumirengas, vaneri)

lähteet: Hipple 2012 s. 73–103; Rantanen & Domb 2008; http://www.triz.co.uk/files/U48432_40_inventive_principles_with_examples.pdf

LIITE 3: LISTA MUISTIIN KERÄTYISTÄ PATENTTI-JULKAISUISTA

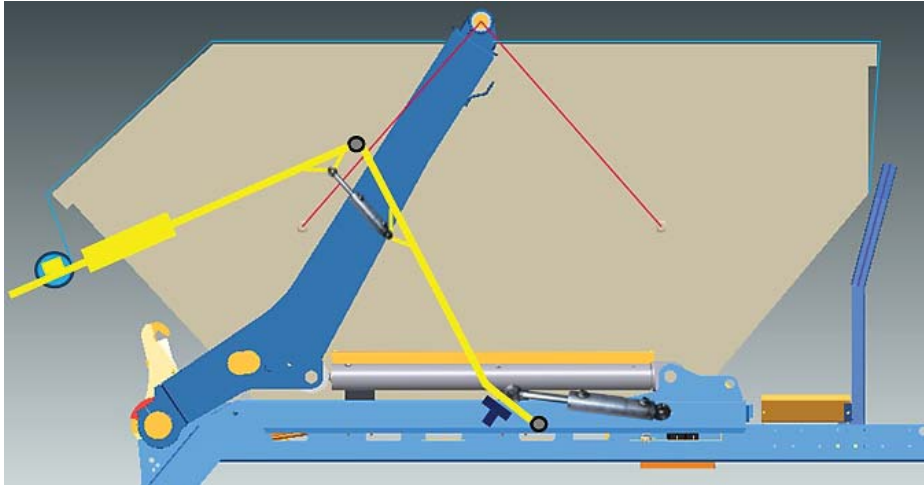
- EP2468549 A covering system for skip containers (Transcover)
- GB2474063 Cover for skip containers (Transcover)
- US5031955 Truck cover
- US3168345 Collapsible cover for trucks
- US3498666 Rollup load cover apparatus for dump bodies
- US3549197 Cover for trucks
- US3549199 Cover for trucks
- US3628826 Universal mounting for truck covers
- US3868142 Adjustable truck cover
- US4082347 Cover assembly
- US4740029 Bow-type tarp covering and tensioning means
- WO0232710 Removable and portable device for winding and unwinding a covering protective element above a skip or container
- US3549198 Dump truck body cover
- US2012235440 Sliding pivot assembly for cover systems
- US5174625 Lever-operated locking and brake means for tarp cover system
- US2009322116 Device for opening and closing of tarpaulins for covering the bodies of industrial, agricultural and similar vehicles
- US1717898 Attachment for laterally-swinging awning arms
- WO9404392 Front mount telescopic arm truck cover system
- US4157202 Truck cover
- US5752735 Adjustable cover apparatus for interchangeable, multisize, open top truck containers
- US2005173940 Container covering apparatus
- US2003193208 Container covering system
- WO2009089333 Container truck cover system
- US5697663 Heap climbing container cover system
- CH187371 Mit einem Auswerferhebel versehener Scherenarm für Storen
- US5944374 Hinge for a truck bed cover bow
- US5887937 Pivot mounting for a truck bed cover
- WO2010024838 Automated cover system for vehicle-mounted containers
- US5829818 Covering device for a vehicle container
- US5829819 Electric tarp system for truck bed
- EP1279538 Container cover (skip)
- US3768540 Retractable canopy shelter
- FR2733948 Motorised opening and closing of goods vehicle's side curtains
- EP1964703 Apparatus for enclosing vehicle transported material (Harsh)
- US2005035623 Automatic truck covering assembly
- US7118157 Bolt-on tarping system
- US2006043754 Tarpaulin system for covering an open-topped container
- WO2004096605 A roll-out cover system for open container vehicles
- GB2471592 Cover arrangement for a load space of a goods vehicle body
- GB2398763 Cover deployment system for cargo carriers
- US5482347 Roll-up tarp apparatus and method
- US5125713 Cover for open topped compartments which is movable between stowed and covering positions
- EP2476567 Hydraulic brake motor assembly for truck cover system
- US2012261939 Roll-up tarp apparatus
- US6513856 Roll assist mechanism for tarp systems (Shur-Co)
- US5002328 Drive system for flexible cover
- US4484777 Apparatus for tensioning a cover sheet over an open-topped rectangular box or building
- US4516802 Truck cover
- US2004217622 Variable height covering system
- FR2898350 Container covering device
- FR2752787 Vehicle cover deployment and retraction mechanism
- US2002033615 Tarp roll having internal drive means
- AU2002300170 Actuation mechanism for a tarping system
- US2005242612 Tarp covering system
- US2003116992 Flexible cover system for an open-topped container
- US2003052506 Assembly for covering open top containers
- US2011266826 Tension bow locking device for a flexible cover system
- EP1375224 Gas spring and air cylinder combination for lifting a variable height roller assembly
- WO2006120411 An improved sheeting system
- US5388882 Tarp assembly for container trucks
- GB2401087 Load cover
- US2012187712 Tarping system with dual springs
- US2007132268 Electric tarping system
- GB2405126 Vehicle load cover
- GB2449242 Vehicle container covering apparatus
- JPS5433426 Device of automatically mounting and demounting rear body sheet of truck
- WO03037670 Vehicle deck cover device for covering the load (Multilift)
- JPS58180335 Mounting and removing device of sheet to truck load bed
- WO2008061989 Tarpaulin covering device (Palfinger)
- WO2004037581 Extendible frame for canvas and tarpaulin covers

- FR2892987 Vehicle open-topped bin cover has articulated mechanism that deploys cover from stowage compartment and returns to retracted position once cover is fastened
- GB885082 Improvements in or relating to lorry tilt or cover frame structures
- EP0906841 Improvements relating to the covering of containers on vehicles
- US4874196 Truck cover having an improved telescopic arm assembly
- US3833255 Combined load cover and windshield protector for dump truck
- FI100872 Ajoneuvon lavan peittämislaitte
- CH560822 Markise
- FR2271073
- US4215894 Demountable assembly for attaching a camper body and load carrier to a pickup body
- US5498066 Articulated cover for a top loading hauling body
- US4673208 Power-operated, extendible and retractable cover for truck beds
- GB2288581 Load covers for long vehicles (Boughton)
- US3649073 Retractable vehicle cover
- US5011214 Truck box cover
- US3416834 Cover construction for open body trucks
- DE9311214 Container
- US4023857 Tensioned and retractable truck body tarpaulin
- US3858744 Support means for holding the cover of a load carrying box in different positions
- US5803528 Truck cover
- DE1146768 Stuetzvorrichtung fuer Planen zum Bedecken der Ladeflaeche von Fahrzeugen
- EP0165113 Covering and uncovering device
- GB943503 A ship's hatch cover
- EP1884386 Actuating system for a covering canvas
- DE102012102049 Cover device for covering open top of tub-shaped loading space of lorry that is utilized for transporting chopped biomass, has winding roller moved on outer side of loading space towards or away from space in longitudinal direction
- US 6893071 Roll-up truck cover assembly

Lähteenä:

European Patent Office, patent database Espacenet [WWW]. Saatavissa (viitattu maaliskuu-huhtikuu 2014): <http://fi.espacenet.com/>

LIITE 4: HYDRAULISEN PEITELAITTEEN LASKENTAMALLI



Tällä laskentamallilla selvitetään tietyn peitelaitteen hydraulisylinterien tarvittavat voimat. Tarkasteltava laitetyyppi on vastaava kuin esimerkiksi Shur-Co Xcalibur tai Boughton Intacova. Laskentamallin peitelaitteen mitat ja komponenttien koot on pyritty mallintamaan mahdollisimman lähelle ensin mainittua laitetta, vapaasti saatavilla olevien markkinointimateriaalin ja kuvien perusteella. Laskennan parametrit eivät todennäköisesti johda optimaalisen kokosiin sylintereihin, mutta tuloksista saadaan kuitenkin vertailukohta peitelaitetekonsepteille.



Kuvat saatavissa (viitattu kesällä 2014):

<http://shurco.co.uk/sheeting-systems/skiploaders/xcalibur-automatic-skiploader/>

http://www.automotivepr.com/cmsAdmin/uploads/DAF_LF_skiploader_2.jpg

määritellään vääntömomentin yksikkö Nm

$$Nm : 1N \cdot 1m = 1J$$

Parametrit ja vektorit

Käytettävät parametrit ja tulokset on korostettu

Varsi 1

profiili 80 x 40 x 3.0

http://sketchup.engineeringtoolbox.com/rectangular-hollow-hot-formed-sections-c_50.html

seinämän paksuus

$$t_s : 3mm$$

profiilin korkeus (levyjen keskipisteistä mitattuna)

$$h_1 : 77mm$$

profiilin leveys (levyjen keskipisteistä mitattuna)

$$w_1 : 37mm$$

Profiilien koot valittu kilpailijoiden laitteiden kuvia arvioimalla. Varsi 1 on alempi varsi, joka on kotiasemassa skiploaderin sivupalkin suuntainen.

taivutusneliömomentti

$$I_{z,1} : 2 \cdot \frac{t_s \cdot h_1^3}{12} + 2 \cdot w_1 \cdot t_s \cdot \left(\frac{h_1}{2}\right)^2 = 5.573 \times 10^5 \cdot mm^4$$

pituus

$$L_1 : 1540mm$$

pituusmassa

$$m_{1,pituus} : 5.29 \frac{kg}{m}$$

massa

$$m_1 : m_{1,pituus} \cdot L_1 = 8.147kg$$

Ei oteta huomioon varressa olevaa kulmaa, mutta tästä aiheutuva virhe on pieni.

Varsi 2

(varsi 2 on ylempi varsi)

profiili 60 x 40 x 3.0

seinämän paksuus

$$t_2 : 3.0mm$$

profiilin korkeus (levyjen keskipisteistä mitattuna)

$$h_2 : 57mm$$

profiilin leveys (levyjen keskipisteistä mitattuna)

$$w_2 : 37mm$$

taivutusneliömomentti $I_{z,2} : 2 \cdot \frac{t_2 \cdot h_2^3}{12} + 2 \cdot w_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2}\right)^2 = 2.729 \times 10^5 \cdot mm^4$

pituus

$$L_2 : 1700mm$$

pituusmassa

$$m_{2,pituus} : 4.35 \frac{kg}{m}$$

massa

$$m_2 : m_{2,pituus} \cdot L_2 = 7.395kg$$

Poikkipalkki/tuki varsiston päässä

(oletetaan palkin olevan samaa materiaalia kuin varsi 2)

pituus

$$L_{tuki} : 2500mm$$

pituusmassa

$$m_{tuki,pituus} : 4.35 \frac{kg}{m}$$

seinämän paksuus

$$t_{tuki} : 3.0mm$$

massa

$$m_{tuki} : m_{tuki,pituus} \cdot L_{tuki} = 10.875kg$$

profiilin korkeus (levyjen keskipisteistä mitattuna)

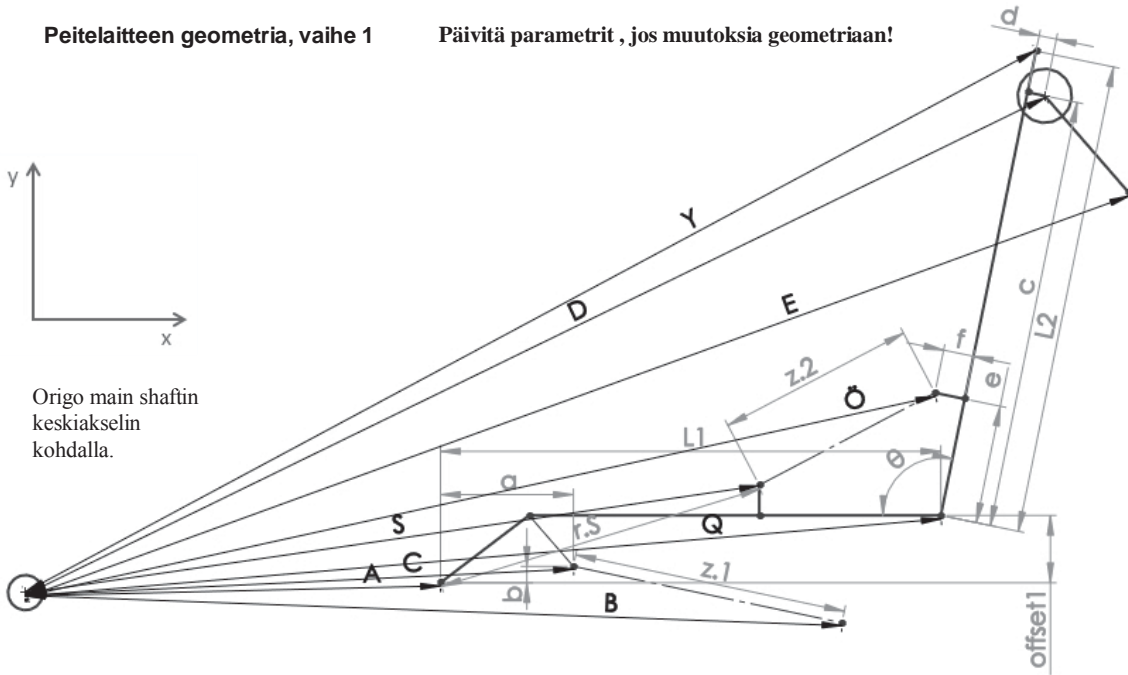
$$h_{tuki} : 57mm$$

profiilin leveys (levyjen keskipisteistä mitattuna)

$$w_{tuki} : 37mm$$

Peitelaitteen geometria, vaihe 1

Päivitä parametrit , jos muutoksia geometriaan!



Origo main shaftin
keskiakselin
kohdalla.

Valitaan origoksi skiploaderin main shaftin keskiakseli. Vektorin A x-komponentti on vaakasuora etäisyys origosta peitelaitteen pääniveleen ja y-komponentti vastaavast pystysuora. Bx on vaakasuora etäisyys origosta sylinterin ja sivupalkin niveleen ja By vastaava pystysuora komponentti.

Vektorin A komponentit

A_x : 1850mm A_y : 60mm

Vektorin B komponentit

B_x : 3010mm B_y : 60mm

(huom! kuvassa B_y on negatiivinen)

Varren 1 kulma vaakatasosta
mitattuna

ϕ_{min} : 0deg
 ϕ_{max} : 130deg
 ϕ : $\phi_{min}, 1deg.. \phi_{max}$

Hydraulisynterin kiinnitys varteen 1,
etäisyys puomin nivelpisteestä A
varren 1 suuntaisesti

a : 262mm

Hydraulisynterin kiinnitys varteen
1, offset nivelestä A

b : 47mm

Nivelen A offset varren 1 keskilinjasta
(ja nivelestä Q)

offset1 : 150mm

Vaakasuora ja pystysuora etäisyys nivelestä A
varren 1 massakeskipisteeseen, kun kulma ϕ on
0. (massakeskipisteen paikka arvioitu
silmämääräisesti)

r_{K1} : 850mm
 r_{K2} : 116mm

Varren 2 massakeskipiste on varren puolessa
välissä.

Kun varsisto on kotiasemassa, mitataan
vaakasuora ja pystysuora etäisyys nivelestä A
niveleen S (sylinterin 2 kiinnitysnivel varressa 1)

$r_{S,x}$: 960mm
 $r_{S,y}$: 230mm

Sylinterin 2 varren 2 kiinnitysnivelen offset
nivelestä Q

e : 200mm
 f : 70mm

Rullan keskiakselin offset nivelestä Q

c : 1420mm
 d : -80mm

Ajatellaan pisteessä Q olevan
lokaali koordinaatisto. Oletetaan
koordinaatiston akselien
positiivisest suunnat normaalisti
(oikeakätinen koordinaatisto).

Toisen varren kulma mitattuna ensimmäisestä varresta

$$\theta_{\min.\text{temp}} : 75\text{deg}$$

$$\theta_{\max.\text{temp}} : 150\text{deg}$$

$$\theta_{\text{middle.temp}} : 100\text{deg}$$

Kulmat kuvien ja CAD-mallin perusteella

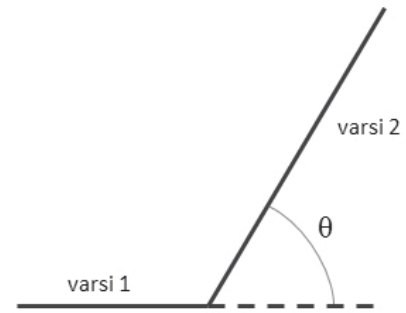
Kiertomatriisiin nollakulma on varren 1 suunnassa. Positiivinen kiertosuunta on vastapäivään (nivelessä Q).

$$\theta_{\min} : 180\text{deg} - \theta_{\max.\text{temp}} \quad 30\text{-deg}$$

$$\theta_{\max} : 180\text{deg} - \theta_{\min.\text{temp}} \quad 105\text{-deg}$$

$$\theta_{\text{middle}} : 180\text{deg} - \theta_{\text{middle.temp}} \quad 80\text{-deg}$$

$$\theta : \theta_{\min}, \theta_{\min} + 1\text{deg}.. \theta_{\max}$$



Kun varret kotiasemassa

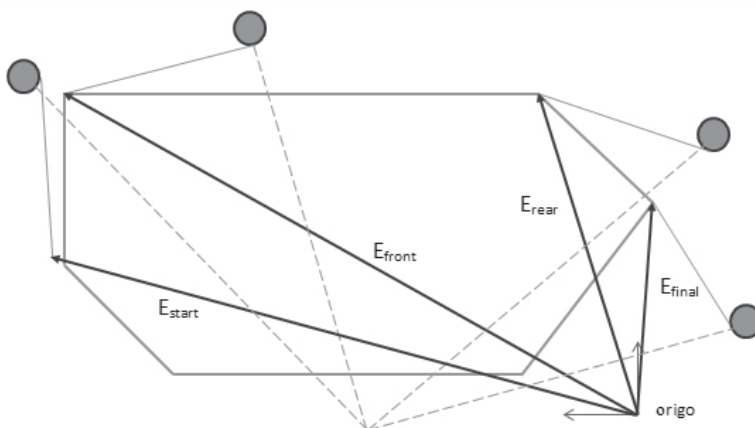
Vektorien määrittely

Peitteen vektorit 5m3 lavan kanssa

Tarkastellaan 5 m3 DIN-standardin mukaista epäsymmetristä lavaa. Skiploader on ilman rungon pidennystä. Vektori E kulkee origosta pisteeseen, jossa peite kohtaa lavan reunan tai peitteen kiinnityspisteeseen. Alussa vektorin päätepiste on ohjaamonsuojan puolivälissä, kohdassa, jossa peitteen reuna on kiinni (kohta, jossa suoja taittuu eteenpäin). Seuraavaksi peite koskettaa lavan etureunaa tietyllä kulman ϕ arvolla. Kun varsien 1 liike lähestyy loppuaan, peite asettuu tietyssä kohdassa vaakatasoon, jolloin vektorin E päätepiste vaihtuu lavan takayläreunaan. Lopussa peite kohtaa lavan takareunan.

Peitteen voiman suuntaan vaikuttavat todellisuudessa esimerkiksi lavan koko, kuorman muoto, jousen väsyminen, peitteen kelauminen tai avautuminen vinosti, jousen esikieristys yms.

Peitevoiman laskennassa oletetaan yksinkertaistuksen vuoksi, että varsien välinen kulma pysyy muuttumattomana, kunnes ensimmäisen varren liike on kokonaan suoritettu. Tämän jälkeen vartta 2 taitetaan alaspäin, kunnes saavutetaan ajonaikainen asema.



Vektorin E_{start} komponentit

$$E_{\text{start.x}} : 3513\text{mm} \quad E_{\text{start.y}} : 787\text{mm}$$

Vektorin E_{front} komponentit

$$E_{\text{front.x}} : 3315\text{mm} \quad E_{\text{front.y}} : 1375\text{mm}$$

Vektorin E_{rear} komponentit

$$E_{\text{rear.x}} : 614\text{mm} \quad E_{\text{rear.y}} : 1375\text{mm}$$

Vektorin E_{final} komponentit

$$E_{\text{final.x}} : 158\text{mm} \quad E_{\text{final.y}} : 918\text{mm}$$

Kohta, jossa vektori E vaihtuu ensimmäisen kerran (peite koskettaa lavan etuyläreunaa)

$$\phi_{E.\text{change.1}} : 20.5\text{deg}$$

huom! kulma ϕ
 θ on keskiasemassa

Kohta, jossa vektori E vaihtuu toisen kerran (peite koskettaa lavan takayläreunaa)

$$\phi_{E.\text{change.2}} : 107.5\text{deg}$$

Kohta, jossa vektori E vaihtuu kolmannen kerran (peite koskettaa lavan takareunaa). Varsi 1 on tehnyt liikkeensä loppuun asti.

$$\theta_{E, \text{change}, 3} : 180 \text{deg} - 87.8 \text{deg} \quad 92.2 \text{-deg}$$

huom! kulma θ
 ϕ on maksimissa

Peitteen vektorit 9m3 lavan kanssa

Mitataan vektorin E komponentit vaihtoehtoisesti 9 m³ lavan kanssa. Tällöin asetetaan sylinteri 2 maksimipituuteen, jotta lavan etureuna saadaan väistettyä. Tässä tapauksessa mittausta aloitetaan kohdasta, jossa peite koskettaa lavan etyläreunaa. Kulmaa kasvatetaan tähän asti käytännössä siten, että kumpaakin sylinteriä ajetaan ulospäin vuorotellen vähän kerrallaan, varoen törmäämistä mihinkään

Vektorin E_{start} vaihtoehtoiset komponentit

Vektorin E_{front} vaihtoehtoiset komponentit

$$E_{\text{start}, x, \theta, \text{min}} : 3567 \text{mm} \quad E_{\text{start}, y, \theta, \text{min}} : 961 \text{mm}$$

$$E_{\text{front}, x, \theta, \text{min}} : 3650 \text{mm} \quad E_{\text{front}, y, \theta, \text{min}} : 1974 \text{mm}$$

Huom! Kun θ on minimissä, varsien välinen kulma on maksimissa.

Vektorin E_{rear} vaihtoehtoiset komponentit

Vektorin E_{final} vaihtoehtoiset komponentit

$$E_{\text{rear}, x, \theta, \text{min}} : 625 \text{mm} \quad E_{\text{rear}, y, \theta, \text{min}} : 1974 \text{mm}$$

$$E_{\text{final}, x, \theta, \text{min}} : -237 \text{mm} \quad E_{\text{final}, y, \theta, \text{min}} : 1190 \text{mm}$$

Aloituskulma

Kohta, jossa vektori E vaihtuu ensimmäisen kerran (peite koskettaa lavan etyläreunaa)

$$\phi_{E, \text{chg}, 1, \theta, \text{min}} : 35.2 \text{deg}$$

<---- aloituskulma !

huom! kulma ϕ

Kohta, jossa vektori E vaihtuu toisen kerran (peite koskettaa lavan takayläreunaa)

$$\phi_{E, \text{chg}, 2, \theta, \text{min}} : 123.3 \text{deg}$$

Kohta, jossa vektori E vaihtuu kolmannen kerran (peite koskettaa lavan takareunaa). Varsi 1 on tehnyt liikkeensä loppuun asti.

$$\theta_{E, \text{chg}, 3, \theta, \text{min}} : 180 \text{deg} - 113.7 \text{deg} \quad 66.3 \text{-deg}$$

huom! kulma θ

Koordinaatiston kiertomatriisi (z-akselin ympäri) nivelessä A

Koordinaatiston kiertomatriisi (z-akselin ympäri vastapäivään) nivelessä Q

$$A_z(\phi) : \begin{pmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Q_z(\theta) : \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Puomiston päänivelen A paikkavektori

$$\vec{A} : \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Sylinterin kiinnitysnivelen B paikkavektori

$$\vec{B} : \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Vektori nivelestä A niveleen Q

$$\vec{r}_Q : \begin{pmatrix} L_1 \\ \text{offset1} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Varsien välisen nivelen Q paikkavektori

$$Q(\phi) : \vec{A} + A_z(\phi) \cdot \vec{r}_Q$$

$$Q(\phi_{\text{min}}) : \begin{pmatrix} 3.39 \\ 0.21 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

$$Q(20 \text{deg}) : \begin{pmatrix} 3.246 \\ 0.728 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

Vektori nivelestä A niveleen S

$$\vec{r}_S : \begin{pmatrix} r_{S,x} \\ r_{S,y} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Sylinterin kiinnitysnivelen S paikkavektori

$$\vec{S}(\phi) : \vec{A} + A_z(\phi) \cdot \vec{r}_S$$

$$S(0 \text{deg}) : \begin{pmatrix} 2.81 \\ 0.29 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

Nivelen Q ja Ö välinen vektori	$r_{\text{Ö}}: \begin{pmatrix} e \\ f \\ 0 \end{pmatrix}$		
Nivelen Ö paikkavektori	$\text{Ö}(\phi, \theta): Q(\phi) + Q_Z(\phi + \theta) \cdot r_{\text{Ö}}$	$\text{Ö}(\phi_{\min}, \theta_{\text{middle}}) \begin{pmatrix} 3.356 \\ 0.419 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	$\text{Ö}(80\text{deg}, \theta_{\text{middle}}) \begin{pmatrix} 1.758 \\ 1.605 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$
Vektori nivelestä Q peiterullan keskiakseliin	$r_{\text{D}}: \begin{pmatrix} c \\ d \\ 0 \end{pmatrix}$	Toimii CAD-mallin perusteella.	
Peiterullan keskiakselin paikkavektori D	$D(\phi, \theta): Q(\phi) + Q_Z(\phi + \theta) \cdot r_{\text{D}}$	$D(\phi_{\min}, \theta_{\text{middle}}) \begin{pmatrix} 3.715 \\ 1.595 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	$D(130\text{deg}, \theta_{\text{max}}) \begin{pmatrix} -0.135 \\ 0.026 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$
Varsiston päässä olevan poikittaispalkin paikkavektori	$Y(\phi, \theta): Q(\phi) + Q_Z(\phi + \theta) \cdot \begin{pmatrix} L_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$Y(40\text{deg}, \theta_{\text{middle}}) \begin{pmatrix} 2.083 \\ 2.637 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	
Vektori nivelestä A varren 1 massakeskipisteeseen	$r_{\text{K}}: \begin{pmatrix} r_{\text{K1}} \\ r_{\text{K2}} \\ 0 \end{pmatrix}$		
Varren 1 painopisteen paikkavektori	$K(\phi): A + A_Z(\phi) \cdot r_{\text{K}}$	$K(0\text{deg}) \begin{pmatrix} 2.7 \\ 0.176 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	
Varren 2 painopisteen paikkavektori	$H(\phi, \theta): Q(\phi) + Q_Z(\phi + \theta) \cdot \begin{pmatrix} \frac{L_2}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$H(\phi_{\min}, \theta_{\text{middle}}) \begin{pmatrix} 3.538 \\ 1.047 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	

sylinteri 1

Sylinterin yläpään ja nivelen A välinen vektori	$r_{\text{C}}: \begin{pmatrix} a \\ b \\ 0 \end{pmatrix}$		
Sylinterin yläpään nivelen paikkavektori	$C(\phi): A + A_Z(\phi) \cdot r_{\text{C}}$	$C(\phi_{\min}) \begin{pmatrix} 2.112 \\ 0.107 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$	
Sylinterin 1 pituusvektori	suunta oltava oikein päin! $z_1(\phi): C(\phi) - B$	$z_1(0\text{deg}) \begin{pmatrix} -0.898 \\ 0.047 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$ $ z_1(\phi_{\min}) \quad 0.899 \text{m}$ $ z_1(\phi_{\max}) \quad 1.375 \text{m}$	
	sylinterin vektori rungon nivelestä varren niveleen (sylinteriin kohdistuu lähtökohtaisesti puristusta)		
Sylinterin 1 pituus	$L_{\text{syl.1}}(\phi): z_1(\phi) $		
Sylinterin suuntainen yksikkövektori	$e_{\text{F1}}(\phi): \frac{z_1(\phi)}{L_{\text{syl.1}}(\phi)}$	$e_{\text{F1}}(0\text{deg}) \begin{pmatrix} -0.999 \\ 0.052 \\ 0 \end{pmatrix}$	

sylinteri 2

Markkinoilla olevien laitteiden kuvien ja CAD-mallin hahmottelun perusteella oletetaan sylinterin olevan lyhyemmillään noin 470 mm (40mm sylinterin eräs standardipituus) ja iskunpituus lienee noin 250 mm.

Sylinterin 2 pituusvektori

$$z_2(\phi, \theta) : \quad \vec{O}(\phi, \theta) - S(\phi)$$

sylinterin vektori rungon nivelestä varren niveleen
(sylinteriin kohdistuu lähtökohtaisesti puristusta)

Huom! Kun sylinterin 2 pituus suurenee, kulma θ pienenee.

Sylinterin 2 pituus

$$L_{\text{syl.2}}(\phi, \theta) : \quad |z_2(\phi, \theta)|$$

sylinterin pienin pituus

$$L_{\text{syl.2}}(\phi_{\min}, \theta_{\max}) \quad 0.47 \text{ m}$$

sylinterin maksimipituus

$$L_{\text{syl.2}}(\phi_{\min}, \theta_{\min}) \quad 0.723 \text{ m}$$

Sylinterin suuntainen
yksikkövektori

$$e_{F2}(\phi, \theta) : \quad \frac{z_2(\phi, \theta)}{L_{\text{syl.2}}(\phi, \theta)}$$

sylinterin 2 iskunpituus

$$L_{\text{syl.2}}(\phi_{\min}, \theta_{\min}) - L_{\text{syl.2}}(\phi_{\min}, \theta_{\max}) \quad 252.386 \text{ mm}$$

Peitteen ja lavan kosketuskohdan
paikkavektorit E_{start} , E_{front} , E_{rear} ja E_{final} .

$$E_{\text{start}} : \begin{pmatrix} E_{\text{start.x}} \\ E_{\text{start.y}} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{front}} : \begin{pmatrix} E_{\text{front.x}} \\ E_{\text{front.y}} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{rear}} : \begin{pmatrix} E_{\text{rear.x}} \\ E_{\text{rear.y}} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{final}} : \begin{pmatrix} E_{\text{final.x}} \\ E_{\text{final.y}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Vaihtoehtoiset peitteen ja lavan
kosketuskohdan paikkavektorit E_{start} ,
 E_{front} , E_{rear} ja E_{final} .

$$E_{\text{start.}\theta.\min} : \begin{pmatrix} E_{\text{start.x.}\theta.\min} \\ E_{\text{start.y.}\theta.\min} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{front.}\theta.\min} : \begin{pmatrix} E_{\text{front.x.}\theta.\min} \\ E_{\text{front.y.}\theta.\min} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{rear.}\theta.\min} : \begin{pmatrix} E_{\text{rear.x.}\theta.\min} \\ E_{\text{rear.y.}\theta.\min} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_{\text{final.}\theta.\min} : \begin{pmatrix} E_{\text{final.x.}\theta.\min} \\ E_{\text{final.y.}\theta.\min} \\ 0 \end{pmatrix}$$

suunta oltava oikein päin!

Vaihtoehtoiset peitteen vektorit

Pisteen D (rullan keskiakseli) ja
ohjaamonsuojan yläreunan etäisyysvektori

$$ED_{\text{start}}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{start}} - D(\phi, \theta)$$

$$ED_{\text{start.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{start.}\theta.\min} - D(\phi, \theta)$$

Pisteen D ja peitteen ja lavan kosketuskohdan
etäisyysvektori, kun peite taittuu lavan
etureunasta

$$ED_{\text{front}}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{front}} - D(\phi, \theta)$$

$$ED_{\text{front.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{front.}\theta.\min} - D(\phi, \theta)$$

Pisteen D ja peitteen ja lavan kosketuskohdan
etäisyysvektori, kun peite taittuu lavan
takayläreunasta

$$ED_{\text{rear}}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{rear}} - D(\phi, \theta)$$

$$ED_{\text{rear.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{rear.}\theta.\min} - D(\phi, \theta)$$

Pisteen D ja peitteen ja lavan kosketuskohdan
etäisyysvektori, kun peite taittuu lavan
takareunasta

$$ED_{\text{final}}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{final}} - D(\phi, \theta)$$

$$ED_{\text{final.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad E_{\text{final.}\theta.\min} - D(\phi, \theta)$$

Peitteen suuntaiset yksikkövektorit

$$e_{F.\text{peite.start}}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{start}}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{start}}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.start.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{start.}\theta.\min}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{start.}\theta.\min}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.front}}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{front}}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{front}}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.front.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{front.}\theta.\min}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{front.}\theta.\min}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.rear}}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{rear}}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{rear}}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.rear.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{rear.}\theta.\min}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{rear.}\theta.\min}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.final}}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{final}}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{final}}(\phi, \theta)|}$$

$$e_{F.\text{peite.final.}\theta.\min}(\phi, \theta) : \quad \frac{ED_{\text{final.}\theta.\min}(\phi, \theta)}{|ED_{\text{final.}\theta.\min}(\phi, \theta)|}$$

Määritellään laskennassa tarvittavat yksikkövektorit

Z-akselin suuntainen
yksikkövektori

$$\mathbf{e}_3 : \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Y-akselin suuntainen
yksikkövektori

$$\mathbf{e}_2 : \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Rullan säteen kasvaminen ja liikkeiden ajat

Alussa koko peite on rullalla, poislukien noin 1 m vapaa osuus edessä. Peitettä menee rullalle noin 5.5 metriä eli yhteensä peitteen pituus on noin 6.5 metriä 9 m³ CHEM-standardin mukaisen lavan mukaan mitattuna. Rulla on jousikuormitteinen ja jousi pitää peitteen kireällä liikkeiden aikana.

Ajan hetki

$$T_x : 0s \qquad \text{(alussa)}$$

Puomiston vipuvarsi

$$r_{D, \text{varsi}} : |r_D| \quad 1.422m$$

Rullan pyörimisnopeus (rpm)

$$n_{rpm} : 40$$

Sähkömoottorin pyörimisnopeus
kierroksia/sekunti

$$n_1 : \frac{n_{rpm}}{60} \frac{1}{s} \quad 0.667 \frac{1}{s}$$

Kun tarkastellaan hydraulikalla toimivaa laitetta, ajatellaan rullan kelaatuvan vastaavalla nimellisnopeudella kuin tavallisella peitelaitesähkömoottorilla kelaattaessa (noin 40-75 rpm). Yleisesti sähkömoottorilla toimivat peitelaitteet ovat nopeampia kuin hydraulikalla toimivat.

Rullan kulmanopeus

$$\omega : 2 \cdot \pi \cdot n_1 \quad 4.189 \frac{1}{s}$$

Rullaputken halkaisija
ilman peitettä

$$D_{\text{spool},0} : 125mm$$
$$R_{\text{spool},0} : \frac{D_{\text{spool},0}}{2} \quad 62.5mm$$

Esimerkiksi Shur-co Xcaliburissa on rullaputkikokoonpano, jonka halkaisija on 5"

Rullaputken massa (putki, mahdollisesti jousi yms.)

$$M_{\text{spool}} : 20kg$$

Arvioita

Toisen varren heilahduksen aikana rullal
avautuva peitteen pituus

$$L_{\text{length},2} : 580mm$$

Muu kuorma varsien päässä: mahdollisesti sähkömoottori, jos ei joutsa, ym. kokoonpano-osat.

$$M_{\text{kuorma.muut}} : 2kg$$

Ensimmäisen varren heilahduksen
aikana rullalta avautuva peitteen
pituus

$$L_{\text{length},1} : 4904mm$$

Peitemateriaalin tiheys

$$\rho_{\text{sheet.area}} : 0.722 \frac{kg}{m^2} \quad \text{(mighty mesh 722 g/m}^2\text{)}$$

Mitattu CAD-mallista 9 m³
epäsymmetrisen CHEM lavan
kanssa.

Peitteen paksuus (arvio)

$$b_{\text{sheet}} : 2.5mm$$

Peitemateriaalin tiheys toisin.

$$\rho_{\text{sheet}} : \frac{\rho_{\text{sheet.area}}}{b_{\text{sheet}}} \quad 288.8 \frac{kg}{m^3}$$

Peitteen leveys

$$L_{\text{width}} : 2440mm$$

Peitteen kokonaispinta-ala (mukana osa, joka ei mene rullalle ja vähän ylimääräistä)

$$A_{\text{sheet}} : L_{\text{width}} \cdot (L_{\text{length},1} + L_{\text{length},2} + 1.5m) \quad 17.041 m^2$$

Rullan säteen kasvu ja kuluva aika liikkeen 2. vaiheen aikana

Alkutilanteessa peite on kokonaan takana ja rullaputki tyhjä. Varret lähtevät heilahdusliikkeeseen kotiasemaan päin

Rullan säde kasvaa rekursiivisesti, joten muodostetaan tämän laskemiseksi silmukka. Silmukan jokaisella kierroksella halkaisijaan lisätään 2 peitteen paksuutta. Lisäksi tarkastellaan paljonko peitettä menee rullalle. Muuttujaa s_i kasvatetaan joka kierroksella uutta halkaisijaa vastaavan kehän pituuden verran. Kun s_i ensimmäisen kerran ylittää peitelaitteen liikevaiheeseen vaadittavan peitteen pituuden, hypätään silmukan ohi ja ohjelma palauttaa rullan halkaisijan.

Huom! Tämä ottaa halkaisijan laskennassa huomioon vain täydet kierrokset.

```

D2,max :
  si ← 0
  di ← Dspool,0
  while (si < Llength,2)
    di ← di + 2·bsheet
    si ← si + π·di
  di

```

```

Sheet_on_spool2 :
  si ← 0
  i ← 1
  di ← Dspool,0
  while (si < Llength,2)
    di ← di + 2·bsheet
    si ← si + π·di
    i ← i + 1
  si

```

Silmukka laskee peitteen täysien kierrosten määrän.

```

Revolutions2 :
  si ← 0
  i ← 1
  di ← Dspool,0
  while (si < Llength,2)
    di ← di + 2·bsheet
    si ← si + π·di
    i ← i + 1
  i - 1

```

Sheet_on_spool₂ 0.833 m

Revolutions₂ 2

Kun ollaan toisen vaiheen liikkeen lopussa (vaiheen 1 ja 2 rajalla), rullan halkaisija on

$$D_{2,spool,max} : D_{2,max} \quad 135 \cdot \text{mm}$$

$$R_{2,max} : \frac{D_{2,spool,max}}{2} \quad 67.5 \cdot \text{mm}$$

Peitteen reunan nopeus rullalta avautuessa. Nopeus heilahduksen 2 lopussa, juuri ennen liikkeen 1 alkamista.

$$v_{sheet,2,max} : \omega \cdot \frac{D_{2,spool,max}}{2} \quad 0.283 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kehänopeus heilahduksen 2 alussa, kun rullaputki on tyhjä

$$v_{sheet,2,min} : \omega \cdot \frac{D_{spool,0}}{2} \quad 0.262 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kehänopeus heilahdusliikkeessä 2 keskimäärin $v_{sheet,2} : \frac{v_{sheet,2,max} + v_{sheet,2,min}}{2} \quad 0.272 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Peitteen massavirta rullalta

$$m_{virta,2} : \rho_{sheet} \cdot b_{sheet} \cdot L_{width} \cdot v_{sheet,2} \quad 0.48 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Rullan tilavuus ajanhetkellä T_1

$$V_2 : \frac{1}{\rho_{sheet}} \left(\int_0^{T_x} m_{virta,2} dt \right) \quad \text{Rullan tilavuudeksi liikkeen 2 lopussa } V_{2,virta} : b_{sheet} \cdot v_{sheet,2} \cdot L_{width} \cdot T_x \quad (= \text{liikkeen 1 alussa}) \text{ tulee näin ollen}$$

Tilavuus liikkeen 2 lopussa voidaan myös ilmaista seuraavassa muodossa.

$$V_2 : L_{width} \cdot L_{length,2} \cdot b_{sheet}$$

$$V_2 \quad 3.538 \text{ L}$$

$$V_2 \cdot \rho_{sheet} \quad 1.022 \text{ kg}$$

Heilahduksen ensimmäiseen vaiheeseen kuluva $T_{2,liike} : \frac{V_2}{b_{sheet} \cdot v_{sheet,2} \cdot L_{width}} \quad 2.13 \text{ s}$ aika.

(kotiasemasta ensimmäisen pysähtymiskohtaan)

Tiettyä poikkileikkausta virtaa tilavuuden V_2

verran keskinopeudella $v_{sheet,2}$.

$$b_{sheet} \cdot v_{sheet,2} \cdot L_{width} \quad 1.661 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Rullan säteen kasvu ja liikeaika liikkeen 1 aikana

Rullan säde kasvaa rekursiivisesti, joten tämän laskemiseksi on muodostettu silmukka. Lähtötietona on edellisen vaiheen lopputilanne.

$$D_{1,max} : \begin{cases} s_i \leftarrow 0 \\ d_i \leftarrow D_{2,spool,max} \\ \text{while } (s_i < L_{length,1}) \\ \quad \begin{cases} d_i \leftarrow d_i + 2 \cdot b_{sheet} \\ s_i \leftarrow s_i + \pi \cdot d_i \end{cases} \\ d_i \end{cases}$$

$$D_{2,spool,max} = 0.135 \text{ m}$$

$$\text{Revolutions}_1 : \begin{cases} s_i \leftarrow 0 \\ i \leftarrow 1 \\ d_i \leftarrow D_{2,spool,max} \\ \text{while } (s_i < L_{length,1}) \\ \quad \begin{cases} d_i \leftarrow d_i + 2 \cdot b_{sheet} \\ s_i \leftarrow s_i + \pi \cdot d_i \\ i \leftarrow i + 1 \end{cases} \\ i - 1 \end{cases}$$

$$\text{Revolutions}_1 = 10$$

Kun peite on kokonaan rullalla, halkaisija on $D_{1,spool,max} : D_{1,max} = 185 \text{ mm}$

$$R_{1,max} : \frac{D_{1,spool,max}}{2} = 92.5 \text{ mm}$$

Peitteen reunan nopeus rullalta avautuessa. Nopeus vaiheen 1 lopussa, kotiaseman lähellä. $v_{sheet,1,max} : \omega \cdot \frac{D_{1,spool,max}}{2} = 0.387 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Kehänopeus vaiheen 1 alussa $v_{sheet,1,min} : \omega \cdot \frac{D_{2,spool,max}}{2} = 0.283 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Rullan kehänopeus heilahdusliikkeessä 1 keskimäärin $v_{sheet,1} : \frac{v_{sheet,1,max} + v_{sheet,1,min}}{2} = 0.335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Peitteen massavirta rullalta/rullalle $m_{virta,1} : \rho_{sheet} \cdot b_{sheet} \cdot L_{width} \cdot v_{sheet,1} = 0.59 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

Rullan tilavuus ajanhetkellä T_1 $V_1 : \frac{1}{\rho_{sheet}} \left(\int_0^{T_x} m_{virta,1} dt \right)$

Täyden rullan tilavuudeksi tulee näin ollen $V_{rulla} : b_{sheet} \cdot v_{sheet,1} \cdot L_{width} \cdot T_x$

Rullalla olevan peitemateriaalin tilavuus liikkeen 1 lopussa. $V_{peite} : L_{width} \cdot L_{length,1} \cdot b_{sheet}$

$$V_1 = 29.914 \text{ L}$$

Heilahduksen ensimmäiseen vaiheeseen kuluva aika (kotiasemasta ensimmäisen pysähtymiskohtaan) $T_{1,liike} : \frac{V_1}{b_{sheet} \cdot v_{sheet,1} \cdot L_{width}} = 14.634 \text{ s}$

Rullalle menevän peitteen kokonaistilavuus

$$V_1 + V_2 = 33.452 \text{ L}$$

Yhden heilahdusliikkeen aikana rullan tekemät kierrokset $n_{heilahdus,1} : \frac{\omega}{2\pi} \cdot T_{1,liike} = 9.756$

Rullalle menevän peitteen massa

$$(V_1 + V_2) \cdot \rho_{sheet} = 9.661 \text{ kg}$$

Koko heilahdusliikkeeseen kuluva aika $T_{1,2,kok} : T_{1,liike} + T_{2,liike} = 16.765 \text{ s}$

Peitelaitteen kuormat ja voimat liikkeessä 1

Tarkastellaan liikettä kotiasemasta ensimmäisten varsien liikkeen loppuun asti (kun osuvat stoppariin).

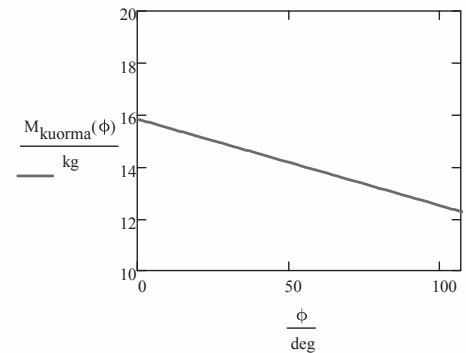
Oletetaan, että varren 1 kulma vaakatasoon nähden muuttuu lineaarisesti ajan kuluessa. Kulmalla $\phi = 0$ halutaan ajan olevan 0. $T_1(\phi) : \frac{T_{1,liike}}{\phi_{max}} \cdot \phi$

Rullakokoonpanon massa ajan funktiona

Varren päässä oleva massa ajan funktiona. Miinusmerkki massavirran eteen, koska alussa rulla täynnä.

$$M_{\text{kuorma}}(\phi) : \frac{M_{\text{spool}} + M_{\text{kuorma.muut}} - m_{\text{virta.1}} \cdot T_1(\phi) + (V_1 + V_2) \cdot \rho_{\text{sheet}}}{2}$$

Jaetaan kokonaiskuorman suuruus kahdella, koska tarkastellaan puolikkaan peitelaitteen tilannetta!



Kuorma varsien päässä jaettuna kahdella, ajanhetkellä 0.

$$M_{\text{kuorma}}(0.\text{deg}) = 15.831 \text{ kg}$$

Peitelaitteen kuormat ja voimat liikkeessä 2

Aloitetaan ajan laskeminen alusta liikkeen 2 alkaessa. Alussa varsien välinen kulma-asema on middle ja lopussa varsien välinen kulma on pienimmillään eli θ on maksimissa.

Oletetaan, että varren 2 kulma muuttuu lineaarisesti ajan kuluessa. Kulmalla θ_max halutaan ajan olevan 0.

$$T_{2.\text{aux}}(\theta) : \frac{T_{2.\text{liike}}}{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{middle}}} \cdot \theta$$

$$T_{2.\text{aux}}(\theta_{\text{middle}}) = 6.817 \text{ s}$$

Koska kulma ei lähde nolasta, on muokattava suoran yhtälöä ----->

$$T_2(\theta) : T_{2.\text{aux}}(\theta) - T_{2.\text{aux}}(\theta_{\text{middle}})$$

$$T_2(\theta_{\text{middle}}) = 0 \text{ s}$$

$$T_2(\theta_{\text{max}}) = 2.13 \text{ s}$$

Rullakokoonpanon massa ajan funktiona

Lähdetään liikkeelle kohdasta, jossa varsi 1 on lopettanut liikkeensä ja varsi 2 on aloittamaisillaan loppuheilahdusta

Varren päässä oleva massa ajan funktiona. Miinusmerkki massavirran eteen, koska alussa rullalla on peitettä, joka alkaa vähentyä.

$$M_{\text{kuorma.2}}(\theta) : \frac{M_{\text{spool}} + M_{\text{kuorma.muut}} - m_{\text{virta.2}} \cdot T_2(\theta) + (V_2) \cdot \rho_{\text{sheet}}}{2}$$

Jaetaan kokonaiskuorman suuruus kahdella, koska tarkastellaan puolikkaan peitelaitteen tilannetta.

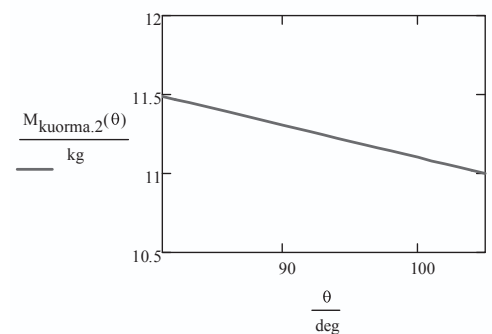
$$\theta_{\text{middle}} = 80.\text{deg}$$

$$\theta_{\text{max}} = 105.\text{deg}$$

Kuorma varsien päässä jaettuna kahdella, ajanhetkellä 0.

$$M_{\text{kuorma.2}}(\theta_{\text{middle}}) = 11.511 \text{ kg}$$

$$M_{\text{kuorma.2}}(\theta_{\text{max}}) = 11 \text{ kg}$$



Peitteen voima ja suunta

Oletetaan yksinkertaistuksen vuoksi peitteen voiman vaikuttavan pisteeseen D (rullan keskipiste). Mikäli ei käytetä sähkömoottoria ja rullan sisällä on jousi, jousi aiheuttaa peitteen välityksellä voiman varsiin. Jousivoima kasvaa jousen kiristyessä.

Peitteen ei tarvitse olla erityisen kireällä liikkeen aikana, mikäli rulla kulkee varsien päässä. Jos käytetään jousikuormitteista rullaa, tulee jousen kohdistaa peitteeseen sen verran voimaa, että peite kelautuu siististi rullalle.

Liike 1

Jousen vääntömomentti liikkeen 1 alussa.
Lähdetään liikkeelle kotiasemasta

$$M_{\text{jousi.min.1}} : 10 \text{ Nm}$$

Arvot ovat arvioita. Perustuvat tietyn peitelaitteen testausarvoihin.

Jousen vääntömomentti liikkeen 1 lopussa.
Päädytään takatuelle (liike 1 päättyy ja liike 2 on seuraavana alkamassa).

$$M_{\text{jousi.max.1}} : 26 \text{ Nm}$$

$$R_{2,\text{max}} \quad 67.5 \cdot \text{mm} \quad R_{1,\text{max}} \quad 92.5 \cdot \text{mm}$$

Kun rullan säde suurenee, jousen peitteeseen kohdistama voima pienenee

Peitteeseen kohdistuva voima alussa

$$F_{\text{peite.min.1}} : \frac{M_{\text{jousi.min.1}}}{R_{1,\text{max}}} \quad 108.108 \text{ N}$$

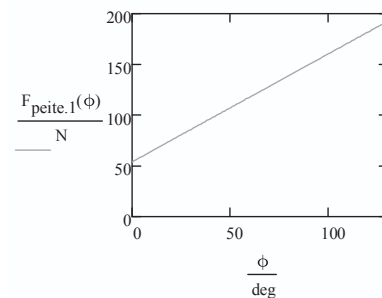
Peitteeseen kohdistuva voima lopussa

$$F_{\text{peite.max.1}} : \frac{M_{\text{jousi.max.1}}}{R_{2,\text{max}}} \quad 385.185 \text{ N}$$

Säde ja voima oltava oikein pareittain.

Oletetaan, että peiterullan jousen vääntömomentti kasvaa lineaarisesti varsien kulman kanssa. Jousivoima on normaalisti veto- ja puristusjousilla $F=-kx$. Jaetaan jousen peitteeseen kohdistama voima kahdella, koska tarkastellaan symmetrisyyden nojalla vain toisen puolen tilannetta.

$$F_{\text{peite.1}}(\phi) : \frac{\frac{F_{\text{peite.max.1}} - F_{\text{peite.min.1}}}{\phi_{\text{max}}} \cdot \phi + F_{\text{peite.min.1}}}{2}$$



Liike 2

Jousen vääntömomentti liikkeen 2 alussa.
Lähdetään liikkeelle liikkeiden vaihtokohdasta.

$$M_{\text{jousi.min.2}} : M_{\text{jousi.max.1}} \quad 26 \cdot \text{Nm}$$

arvot ovat arvioita!

Jousen vääntömomentti liikkeen 2 lopussa.
Rulla saavuttaa päätepisteensä ja koko peite on avautunut.

$$M_{\text{jousi.max.2}} : 28 \text{ Nm}$$

$$R_{\text{spool.0}} \quad 62.5 \cdot \text{mm} \quad R_{2,\text{max}} \quad 67.5 \cdot \text{mm}$$

Kun rullan säde suurenee, jousen peitteeseen kohdistama voima pienenee

Peitteeseen kohdistuva voima alussa ja lopussa

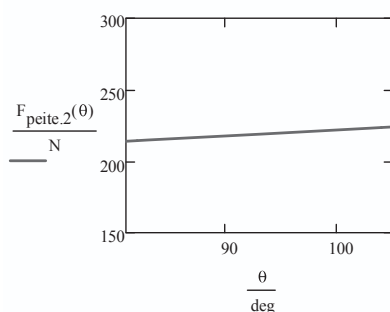
$$F_{\text{peite.min.2}} : \frac{M_{\text{jousi.min.2}}}{R_{2,\text{max}}} \quad 385.185 \text{ N} \quad F_{\text{peite.max.2}} : \frac{M_{\text{jousi.max.2}}}{R_{\text{spool.0}}} \quad 448 \text{ N}$$

Oletetaan, että peiterullan jousen vääntömomentti kasvaa lineaarisesti varsien kulman kanssa. Jousivoima on normaalisti veto- ja puristusjousilla $F=-kx$. Jaetaan jousen peitteeseen kohdistama voima kahdella, koska tarkastellaan symmetrisyyden nojalla vain toisen puolen tilannetta.

Koska kulma ei ala nolasta, lausekkeeseen lisätään negatiivinen termi. Tällä tavoin voiman funktio toimii oikein.

$$F_{\text{peite.2}}(\theta) : \frac{\frac{F_{\text{peite.max.2}} - F_{\text{peite.min.2}}}{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}} \cdot \theta - \left(\frac{F_{\text{peite.max.2}} - F_{\text{peite.min.2}}}{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}} \right) \cdot \theta_{\text{min}} + F_{\text{peite.min.2}}}{2}$$

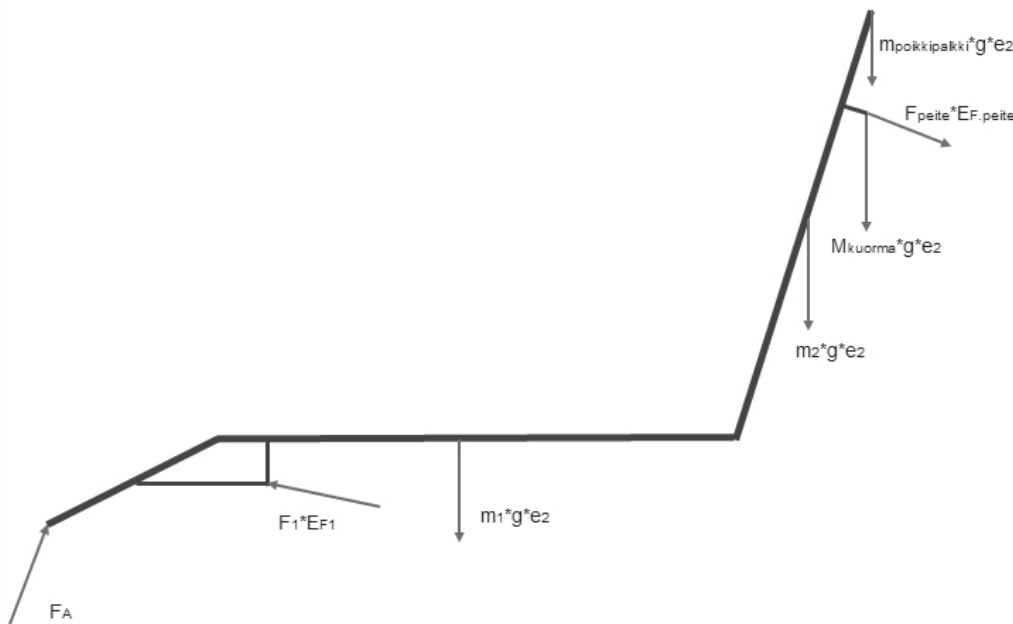
Säde ja voima oltava oikein pareittain.



$$\frac{F_{\text{peite.min.2}}}{2} \quad 192.593 \text{ N}$$

Sylinterivoiman laskenta, vaihe 1

Oletetaan tässä, että toista vartta liikutetaan vasta, kun ensimmäinen on suorittanut liikkeen loppuun. Vektorin E vaihtumiskulmat on mitattava erikseen eri kulmien ϕ ja θ arvojen yhdistelmällä. Itse vektori E pysyy luonnollisesti samana tietyllä lavakoolla.



$$F_1(\phi, \theta) := \begin{cases} \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.start}(\phi, \theta)} \cdot e_3 + (m_{tukki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1(\phi)} \cdot e_3} & \text{if } \phi < \phi_{E.change.1} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.front}(\phi, \theta)} \cdot e_3 + (m_{tukki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1(\phi)} \cdot e_3} & \text{if } \phi_{E.change.1} \leq \phi < \phi_{E.change.2} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.rear}(\phi, \theta)} \cdot e_3 + (m_{tukki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1(\phi)} \cdot e_3} & \text{if } \phi \geq \phi_{E.change.2} \end{cases}$$

Alussa pystysuorien kuormien voiman varsi on positiivinen ja voimat yrittävät pyörittää varsistoa myötäpäivään pisteen A ympäri. Perinteisen merkissäännön mukaan kuitenkin suunta vastapäivään on positiivinen suunta. Lisäksi määritellyt koordinaattisakselien suuntaiset yksikkövektorit ovat oletuksena positiiviseen suuntaan. Tämä takia lisätään massojen eteen minus-merkit. Kun massa ohittaa nivelpisteen A x-suunnassa, muuttuu vektorin x-komponentti negatiiviseksi, jolloin minus-merkit kumoutuvat. Tämä toimii oikein sillä nyt massojen aiheuttamat voimat pyörittävät varsistoa vastapäivään A:n ympäri.

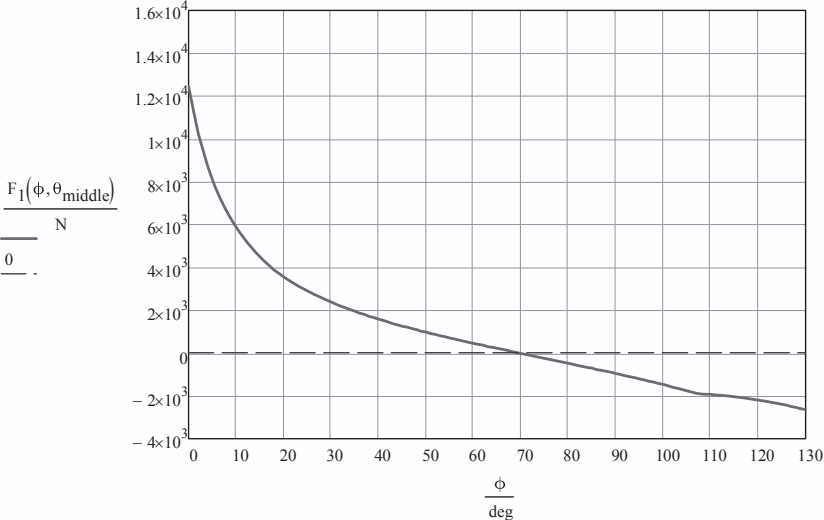
Peitteen voiman yksikkövektorin suunta on pisteestä D pois päin. Kun peitevoima kerrotaan yksikkövektorillaan tulee merkki automaattisesti oikein momenttitasapainoyhtälöön. Peitevoima siis yrittää kaikissa tilanteissa pyörittää varsistoa myötäpäivään. Sylinteri 1 puolestaan pyörittää varsistoa vastapäivään.

Edellisestä yhtälöstä saadaan ratkaistua nostavan sylinterin voima puomin kulma-aseman funktiona.

Tehdään paloittain määritelty voiman lauseke. Vaihtumiskohta on kulman ϕ arvo, jossa peitevoimavektorin toinen päätepiste vaihtuu. (Toinen päätepiste on aina piste D). Voiman F_{peite} eteen on lisättävä miinus-merkki, koska voima siirretään yhtäläisyysmerkin toiselle puolelle. Kuormittavien massojen edestä puolestaan otetaan miinus-merkit pois.

$$F_1(\phi, \theta) := \begin{cases} \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite,1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.start}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi < \phi_{E.change.1} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite,1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.front}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi_{E.change.1} \leq \phi < \phi_{E.change.2} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite,1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.rear}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi \geq \phi_{E.change.2} \end{cases}$$

Sylinterin 1 voima



Lausekkeissa otetaan pistetulo z-suuntaisen yksikkövektorin e3 kanssa, jotta saadaan tulokseksi skalaari.

Laskentamallista tehtiin vertailumalli, jossa laitteen geometriaan tehtiin kokeilun vuoksi muutoksia. Tällöin vastaavaksi sylinterivoimaksi saatiin 7,8 kN, joten täyshydraulisen peitelaitteen sylinterit voisivat olla pienemmät kuin esimerkiksi Xcalibur-laitteessa käytettävät.

Etsitään kohta , jossa voiman suunta vaihtuu root-funktiolla

alkuarvaus

$\xi : 60deg$

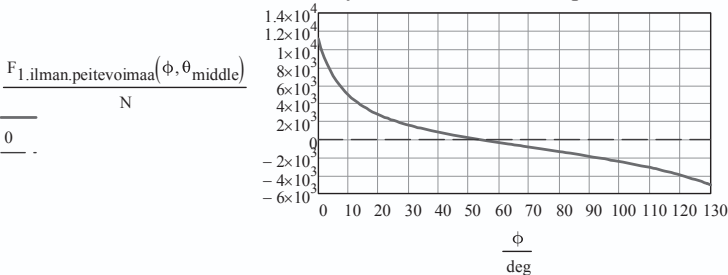
$\phi_{1.force.change} : root(F_1(\xi, \theta_{middle}), \xi)$

$\phi_{1.force.change} \quad 69.685 \cdot deg$

Katsotaan vertailun vuoksi, miten sylinterivoima käyttäytyy ilman peitevoimaa.

$$F_{1.ilman.peitevoimaa}(\phi, \theta) : \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F_1}(\phi) \cdot e_3}$$

Sylinterin voima ilman peitevoimaa



Kuvaajasta huomataan, että maksimivoima on hieman pienempi ilman peitettä ja sylinterin kuormitus muuttuu vedoksi jo aiemmin.

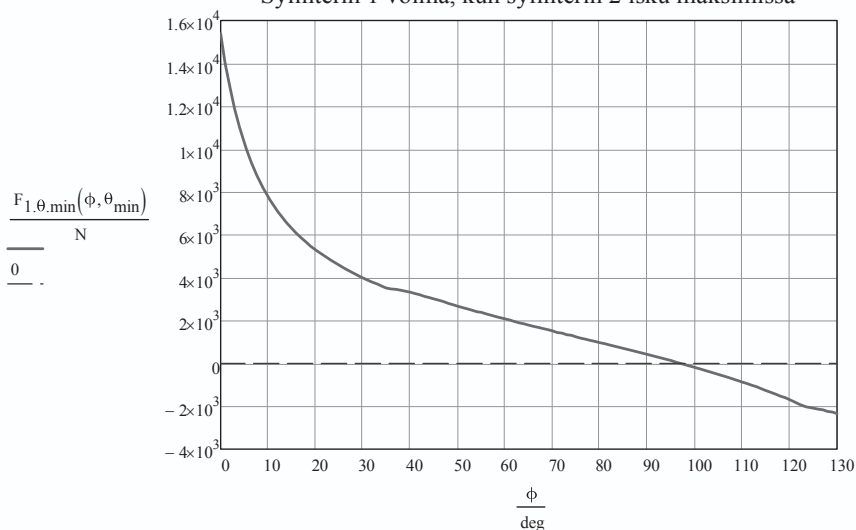
Tarkastellaan vielä pääsylinterin voimaa, kun toinen sylinteri on maksimipituudessaan

Todellisuudessa sylinteriä 2 ei ole yleensä mahdollista ajaa kokonaan ulos kun kulma ϕ on 0, koska rulla törmäisi ohjaamon rakenteisiin. Mikäli skiploaderin ja ohjaamon välissä on tarpeeksi tyhjää tilaa, voidaan varsistoa periaatteessa käyttää myös näin.

Laskenta suoritetaan vastaavasti kuin edellisessä kohdassa, mutta nyt vektori E vastaa tilannetta, jossa kulma θ on pienimmillään eli varsien välinen kulma on suurimmillaan.

$$F_{1.0.min}(\phi, \theta) := \begin{cases} \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.start.0.min}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi < \phi_{E.chg.1.0.min} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.front.0.min}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi_{E.chg.1.0.min} \leq \phi < \phi_{E.chg.2.0.min} \\ \frac{(M_{kuorma}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite.1}(\phi) \cdot (D(\phi, \theta) - A) \times e_{F_{peite.rear.0.min}}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - A) \times e_2 \cdot e_3}{(C(\phi) - A) \times e_{F1}(\phi) \cdot e_3} & \text{if } \phi > \phi_{E.chg.2.0.min} \end{cases}$$

Sylinterin 1 voima, kun sylinterin 2 isku maksimissa



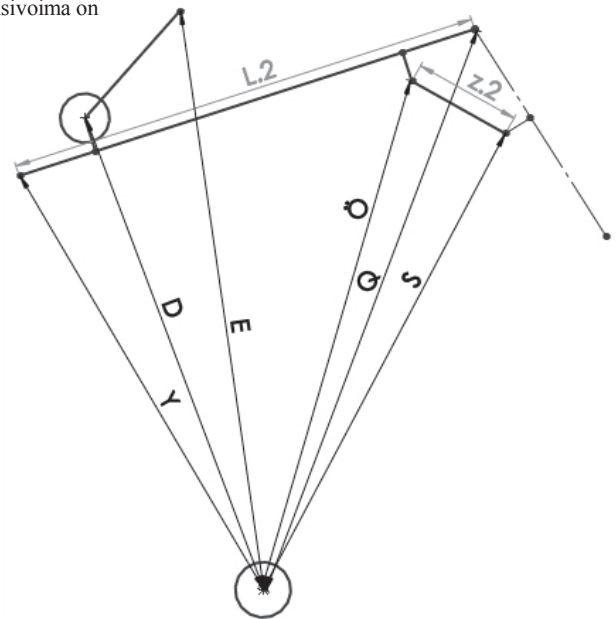
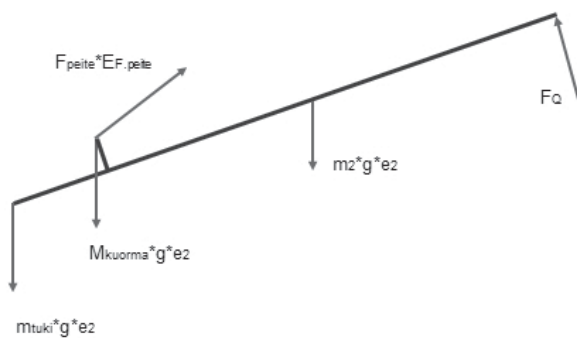
Huomataan, että sylinterivoima oletetusti kasvaa edelliseen tilanteeseen verrattuna. Käytetään sylinterivoiman laskennassa tätä teoreettisen käyttötilanteen maksimivoimaa.

Pääsylinteriltä tarvittavaan voimaan vaikuttavat lisäksi muun muassa kitkavoimat ja hydrauliset häviöt sekä mahdollisesti hitausvoimat.

Sylinterivoiman laskenta, vaihe 2

Oletetaan, että varsi 1 on tukeutuneena tukeensa, jolloin kulma ϕ on suurimmillaan, kun sylinteriä 2 liikutetaan. Sylinterin 2 voimat ovat todennäköisesti suurimmillaan tällöin, sillä rullan jousivoima on lähestymässä maksimiaan ja massojen vipuvarret ovat suurimmillaan nivelen Q suhteen.

Lasketaan vastaavasti kuin vaihe 1.



Momenttitasapaino pisteen Q suhteen.

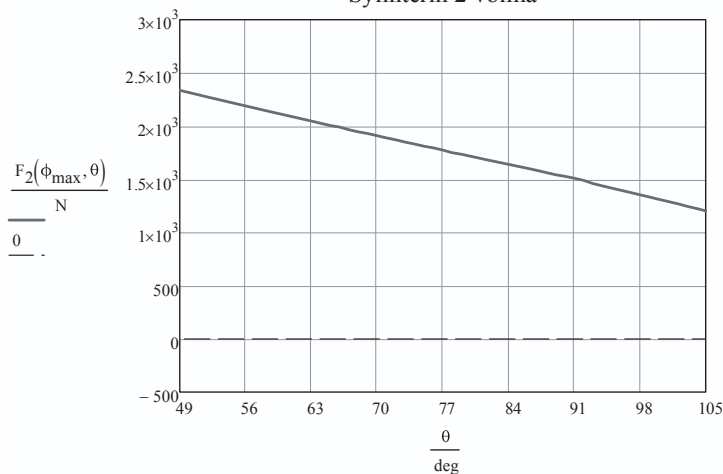


Tarkastellaan momenttitasapainoa laitteen oikeanpuoleiselta sivulta katsottuna.

$$(U - Q) \times (F_2 \cdot e_{F2}) + (\ddot{O} - Q) \times [M_{kuorma,2} \cdot g \cdot (-e_2)] + (H - Q) \times [m_2 \cdot g \cdot (-e_2)] + (\ddot{O} - Q) \times (F_{peite,2} \cdot e_{F,peite}) + (Y - Q) \times [m_{tuki} \cdot g \cdot (-e_2)] = 0$$

$$F_2(\phi, \theta) := \begin{cases} \frac{(M_{kuorma,2}(\theta) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite,2}(\theta) \cdot (\ddot{O}(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_{F,peite,rear}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3}{(\ddot{O}(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_{F2}(\phi, \theta) \cdot e_3} & \text{if } \theta < \theta_{E,change,3} \\ \frac{(M_{kuorma,2}(\theta) \cdot g) \cdot (D(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3 - F_{peite,2}(\theta) \cdot (\ddot{O}(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_{F,peite,final}(\phi, \theta) \cdot e_3 + (m_{tuki} \cdot g) \cdot (Y(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_2 \cdot e_3}{(\ddot{O}(\phi, \theta) - Q(\phi)) \times e_{F2}(\phi, \theta) \cdot e_3} & \text{if } \theta \geq \theta_{E,change,3} \end{cases}$$

Sylinterin 2 voima



Hydraulisylinterien valinta

Erilaisten sylinterikatalogien tietojen perusteella peitelaitteeseen sopivan kokoisilla sylintereillä maksimi painetaso on yleensä noin 100-200 bar.

Valitaan alustava peitelaitteen
hydraulijärjestelmän painetaso $p_1 : 100 \text{ bar}$

Sylinteri 1

Kuvaajasta nähdään, että sylinterin 1 suurin voima tarvitaan, kun kulma ϕ on nolla.

Käytetään vektorista $e_{F, \text{peite}}$ sitä vaihtoehtoa, jonka vaikutusalueella sylinterivoima näyttää suurimmalta.

$$F_{1, \text{max}} : F_{1, \theta, \text{min}}(\phi_{\text{min}}, \theta_{\text{min}}) \quad 15.383 \text{ kN}$$

Sylinterin iskunpituus saadaan $L_{\text{isku}, 1} : |z_1(\phi_{\text{max}}) - z_1(\phi_{\text{min}})| \quad 482.486 \text{ mm}$
vektorin z suurimman ja pienimmän
pituuden erotuksena.

Sylinterin pienin pituus mäntä sisään $L_{\text{sylinteri}, \text{min}} : |z_1(\phi_{\text{min}})| \quad 0.899 \text{ m}$
vedettynä

$$\text{Tarvittava sylinterin männän halkaisija} \quad d_{1, \text{tarkka}} : \sqrt{\frac{4 \cdot F_{1, \text{max}}}{\pi \cdot p_1}} \quad d_{1, \text{tarkka}} \quad 44.256 \text{ mm}$$

Esimerkiksi Xcalibur sylinterin 1 männän
halkaisija on 2"
(parts pdf) $d_1 : 2.25.4 \text{ mm} \quad 50.8 \text{ mm}$

Sylinterin todellinen mitoitus täsmää
melko hyvin laskentamallin kanssa.
Varaa jää vielä vastuksille ja häviöille.

Painetaso valitulla sylinterillä
tulee olla

$$p : \frac{F_{1, \text{max}}}{\left(\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \right)} \quad 75.895 \text{ bar}$$

Mahdollinen sylinterikoko olisi esimerkiksi 50/30-800, pituus 1000 mm.
Iskunpituudesta jää osa käyttämättä.

Männän pinta-ala

$$A_{c, 1} : \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad 2.027 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Peitelaitteen geometriaa tutkittiin CAD-mallin avulla, ja huomattiin,
että liikkeiden toteuttamiseen riittäisi pienempikin sylinteri.
Iskunpituudeksi riittäisi noin 400 mm, sylinterin minimipituuden
ollessa noin 560 mm. Männän halkaisijaksi riittäisi 32 mm.
Painetaso 2" halkaisijaisella sylinterillä jää melko alhaiseksi.

Ensimmäisen sylinterin liikkeeseen kuluu
aikaa edellä lasketun perusteella

$$T_{1, \text{liike}} \quad 14.634 \text{ s}$$

Sylinterin keskimääräinen nopeus

$$v_1 : \frac{L_{\text{isku}, 1}}{T_{1, \text{liike}}} \quad 0.033 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tarvittava tilavuusvirta sylinterille
keskimäärin

$$Q_{c, 1} : A_{c, 1} \cdot v_1 \quad 6.682 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{c, 1} \quad 4.009 \cdot \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Sylinteri 2

Sylinterin 2 voima on kuvaajan perusteella suurimmillaan, kun θ on minimissä eli varsien välinen kulma on suurimmillaan.

$$F_{2,\max} : F_2(\phi_{\max}, \theta_{\min}) \quad 2.77 \cdot \text{kN}$$

Sylinterin iskunpituus saadaan vektorin z suurimman ja pienimmän pituuden erotuksena.

$$L_{\text{isku},2} : |z_2(\phi_{\max}, \theta_{\min}) - z_2(\phi_{\max}, \theta_{\max})| \quad 257.988 \cdot \text{mm}$$

Sylinterin pienin pituus mäntä sisään vedettynä

$$L_{\text{sylinteri},2,\min} : |z_2(\phi_{\min}, \theta_{\max})| \quad 470.33 \cdot \text{mm}$$

Tarvittava sylinterin männän halkaisija

$$d_{2,\text{tarkka}} : \sqrt{\frac{4 \cdot F_{2,\max}}{\pi \cdot p_1}} \quad d_{2,\text{tarkka}} \quad 18.78 \cdot \text{mm}$$

Xcalibur sylinteri 2 männän halkaisija on 1.5" (parts pdf)

$$d_2 : 1.5 \cdot 25.4 \text{ mm} \quad 38.1 \cdot \text{mm}$$

Mahdollinen sylinterikoko olisi esimerkiksi 40/25-300, pituus 470 mm.

Painetaso valitulla sylinterillä tulee olla

$$p_2 : \frac{F_{2,\max}}{\left(\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}\right)} \quad 24.296 \cdot \text{bar}$$

Liikkeiden toteuttamiseen riittäisi vertailevan mallin mukaan sylinteri, jonka minimipituus on noin 210 mm ja iskunpituus 100 mm. Männän halkaisijaksi riittäisi 25 mm.

Sylinterien nurjahdustarkastelu

Sylinteri on nivelellisesti tuettu molemmista päistä, jolloin nurjahduspituutena on koko sylinterin pituus. Tarkastellaan nurjahdusvarmuutta heilahduskulman funktiona. Käytetään Eulerin teoriaa nurjahdusvoiman laskemiseksi. Sylinteriä kuormittava voima on heilahduskulman funktiona, jonka perusteella saadaan muodostettua varmuusluku nurjahduksen suhteen. Nurjahdusvoiman laskennassa on tehty konservatiivinen yksinkertaistus oletamalla sylinterin halkaisijaksi koko pituuden matkalla männän varren halkaisija, vaikka sylinteriosia on todellisuudessa paksumpi.

Sylinteri 1

Sylinterin pituus nostokulman funktiona

$$L_{\text{syl},1}(\phi) \quad (\text{määritelty alussa vektorien muodostamisen yhteydessä})$$

Männän varren halkaisija

$$d_{\text{vars},1} : 30 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

$$L_{\text{kr},\text{nosto}}(\phi) : L_{\text{syl},1}(\phi)$$

Osavarmuuskerroin

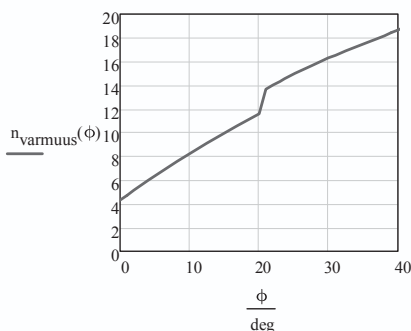
$$\gamma : 1.5$$

Nurjahdusvoima

$$F_{\text{kr}}(\phi) : \frac{\pi^3 \cdot E \cdot d_{\text{vars},1}^4}{\gamma \cdot 64 \cdot (L_{\text{kr},\text{nosto}}(\phi))^2}$$

Varmuus nurjahduksen suhteen

$$n_{\text{varmuus}}(\phi) : \frac{F_{\text{kr}}(\phi)}{F_1(\phi, \theta_{\min})}$$



$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{L_n^2}$$

jossa
E on kimmomoduuli
I neliömomentti
 L_n nurjahduspituus

Kimmomoduuli $E : 210000 \text{ MPa}$

ympyräpoikkileikkauksen neliömomentti

$$\begin{aligned} I_z &= I_y = \frac{5\pi}{4} r^4 \\ I_{yz} &= \pi r^2 \\ I_\zeta &= I_\eta = \frac{\pi}{4} r^4 \\ I_{\eta\zeta} &= 0 \\ I_0 &= \frac{\pi}{2} r^4 \end{aligned}$$

Lasketaan kulma-asemalla θ_{\min} jolloin syntyy pientä virhettä koska peitevoiman vektori on hieman todellisuudesta poikkeava. Virhe ei kuitenkaan ole tässä merkityksellinen.

Jos sylinterin voima muuttuu negatiiviseksi jossakin kohdassa kuvaaja menee äärettömään. On siis rajattava nurjahdustarkastelu alueelle, jossa sylinterissä on puristusta. Voidaan tarkastella esimerkiksi ensimmäistä 70 astetta liikkeestä, sillä varmuus nurjahdusta vastaan kasvaa loppua kohti.

Nähdään, että valittu sylinteri kestää nurjahdusta vastaan.

Sylinterin 2

Sylinterin pituus nostokulman funktiona $L_{\text{syl.2}}(\theta)$ (määritely alussa vektorien muodostamisen yhteydessä)

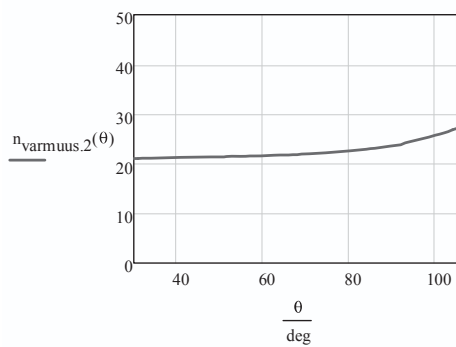
Männän varren halkaisija $d_{\text{varsi.2}} : 25\text{mm}$

Nurjahduspituus $L_{\text{kr.nosto.2}}(\theta) : L_{\text{syl.2}}(\phi_{\text{max}}, \theta)$

Osavarmuuskerroin $\gamma : 1.5$

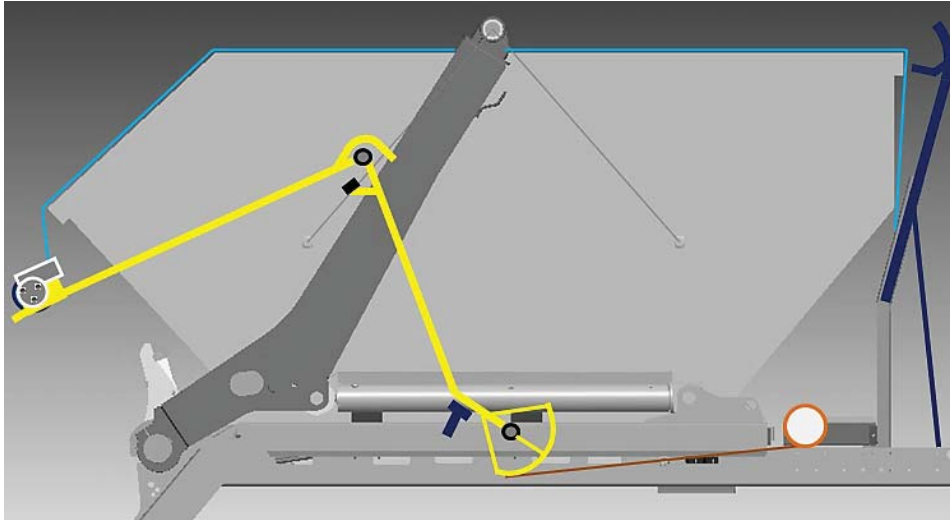
Nurjahdusvoima $F_{\text{kr.2}}(\theta) : \frac{\pi^3 \cdot E \cdot d_{\text{varsi.2}}^4}{\gamma \cdot 64 \cdot (L_{\text{kr.nosto.2}}(\theta))^2}$

Varmuus nurjahduksen suhteen $n_{\text{varmuus.2}}(\theta) : \frac{F_{\text{kr}}(\theta)}{F_2(\phi_{\text{max}}, \theta)}$



Nähdään, että valittu sylinteri kestää nurjahdusta vastaan varmasti.

LIITE 5: KONSEPTIVAIHTOEHDON J LASKENTAMALLI



Tällä laskentamallilla selvitetään konseptivaihtoehdon J osiin vaikuttavia ja tarvittavia voimia. Sivupalkkiin nivelöityä varren osaa kutsutaan nimellä varsi 1 ja loppuosa on varsi 2 (jossa rulla on kiinni). Liike 1 alkaa kotiasemasta lähdettäessä ja sen aikana varsien 1 ja 2 välinen nivel on ojentuneena enimmäismäärän verran. Liike 1 päättyy, kun varsi 1 osuu pysäyttimeen, jolloin rulla on lähellä lavan takayläreunaa. Tämän jälkeen alkaa painovoiman vaikutuksesta liike 2, jonka päätteeksi rulla asettuu lähelle skiploaderin pääakselia.

Parametrit ja keskeisimmät tulokset on korostettu

määritellään yksikkö Nm

Nm : 1N·1m 1J

Materiaaliominaisuuksia

Myötöraja

 $f_y : 355\text{MPa}$

Murtolujuus

 $f_m : 490\text{MPa}$

Tiheys

 $\rho : 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Kimmomoduuli

 $E : 210000\text{MPa}$

RHS-profiilien koko 50x25x2.5 mm on valittu lyhyen FEM-analyysin perusteella.

Varsi 1

seinämän paksuus

 $t_s : 2.5\text{mm}$ profiilin korkeus (levyjen keskipisteistä $h_1 : 47.5\text{mm}$ mitattuna)profiilin leveys (levyjen keskipisteistä $w_1 : 22.5\text{mm}$ mitattuna)taivutusneliömomentti $I_{z,1} : 2 \cdot \frac{t_s \cdot h_1^3}{12} + 2 \cdot w_1 \cdot t_s \cdot \left(\frac{h_1}{2}\right)^2$ $1.081 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$

pituus

 $L_1 : 1948\text{mm}$

massa

 $m_1 : 6\text{kg}$ **Varsi 2**

seinämän paksuus

 $t_2 : 2.5\text{mm}$ profiilin korkeus (levyjen keskipisteistä $h_2 : 47.5\text{mm}$ mitattuna)profiilin leveys (levyjen keskipisteistä $w_2 : 22.5\text{mm}$ mitattuna)taivutusneliömomentti $I_{z,2} : 2 \cdot \frac{t_2 \cdot h_2^3}{12} + 2 \cdot w_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2}\right)^2$ $1.081 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$

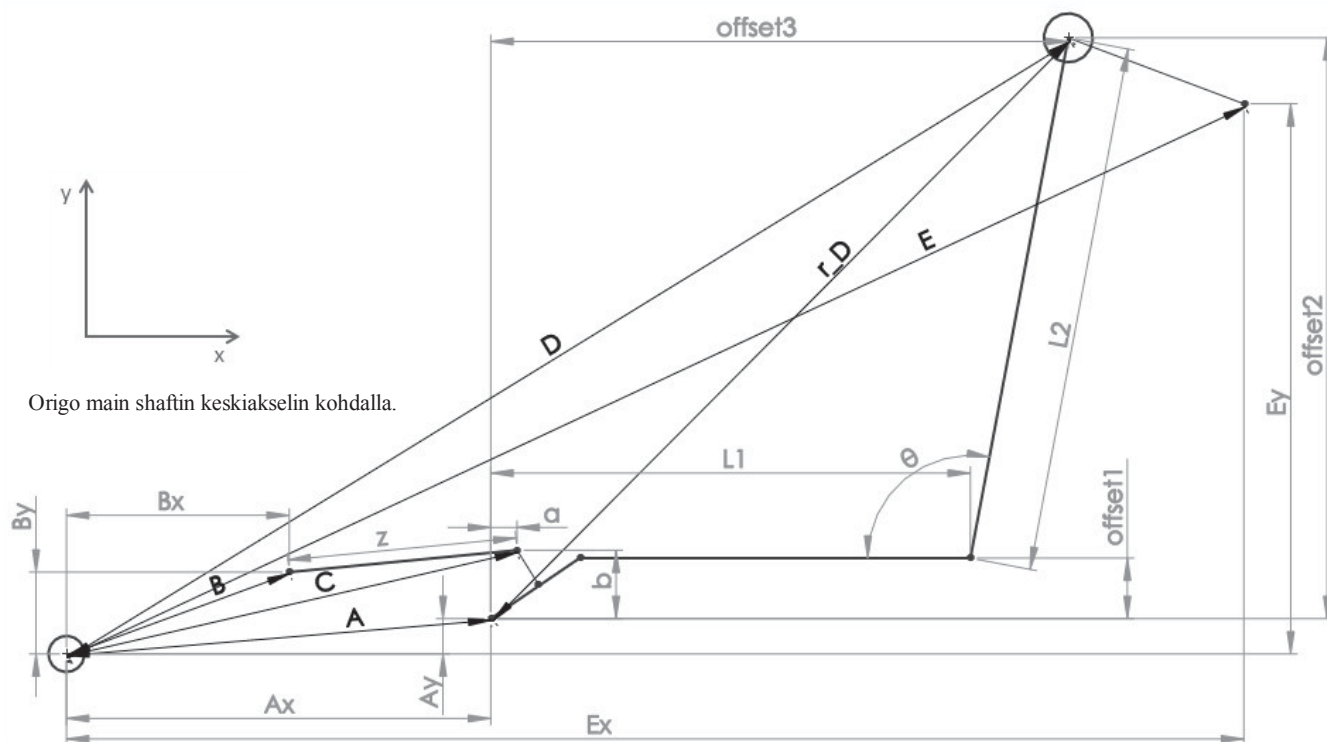
pituus

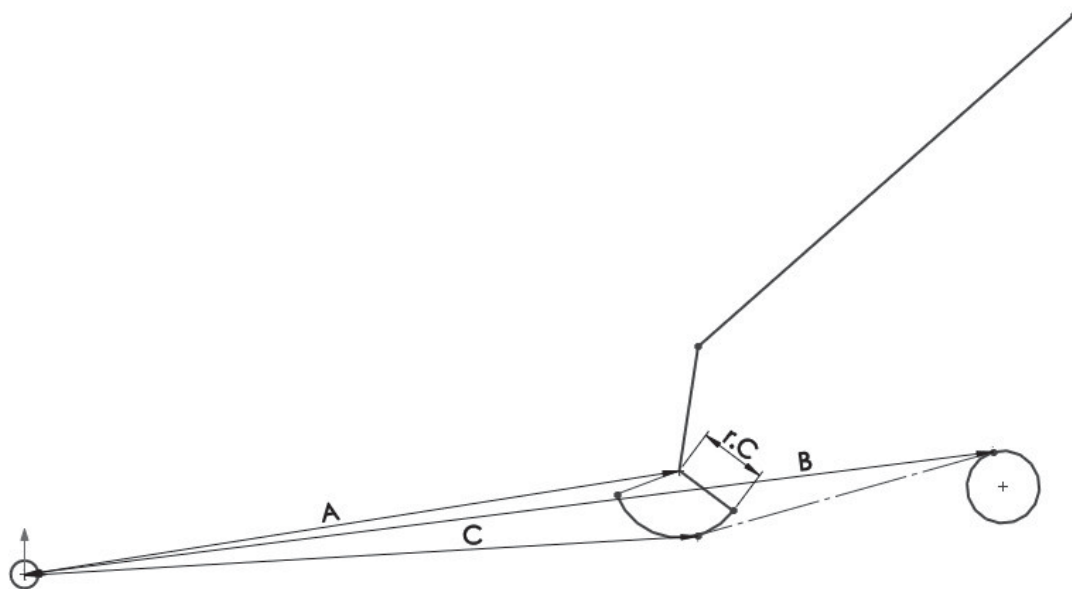
 $L_2 : 2022\text{mm}$

massa

 $m_2 : 6\text{kg}$ **Peitelaitteen geometria, vaihe 1**

Päivitä parametrit , jos muutoksia geometriaan!





Vaijerin kiinnitys varteen 1 ympyräkaaren avulla. Vektorit B ja C pysyvät tällöin vakioina.

Valitaan origoksi skiploaderin main shaftin keskiakseli. Vektorin Ax-komponentti on vaakasuora etäisyys origosta peitelaitteen pääniveleen ja y-komponentti vastaavasti pystysuora. Bx on vaakasuora etäisyys origosta vaijerin ja vaijerirummun kohtaamispisteeseen ja By vastaava pystysuora komponentti.

Vaijerivoiman momenttivarsi on vakio vektori AC, kun käytetään tangentiaalista kiinnitystä.

Vektorin A komponentit

A_x : 1824mm

A_y : 58mm

Vektorin B komponentit

B_x : 3370mm

B_y : 120mm

Vektorin C komponentit

C_x : 1839.3mm

C_y : -67.1mm

Varren 1 kulma vaakatasosta mitattuna (0..107)

ϕ_{min} : 0deg

ϕ_{max} : 107deg

ϕ : ϕ_{min} ..1deg.. ϕ_{max}

Etäisyydet x- ja y-suunnissa nivelestä A peiterullan keskilinjaan (kuvassa offset 2 ja 3)

r_{Dx} : 2350mm

r_{Dy} : 2088mm

Vaijerin kiinnityksen ympyräkaaren säde

$r_{C,2}$: 140mm

Vaakasuora ja pystysuora etäisyys nivelestä A varren 1 keskipisteeseen, kun kulma ϕ on 0.

r_{K1} : 974mm

r_{K2} : 53.5mm

Niveleen A offset varresta 1 (huom! keskilinjasta)

offset1 : 107mm

Vaakasuora ja pystysuora etäisyys nivelestä A varren 2 keskipisteeseen, kun kulma ϕ on 0.

r_{H1} : 2150mm

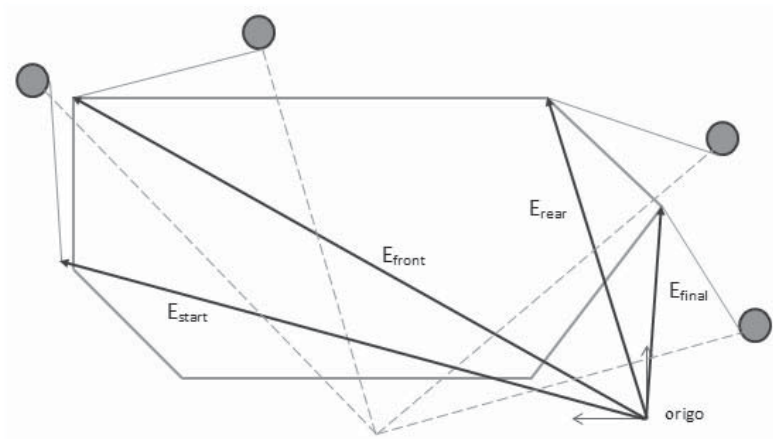
r_{H2} : 1024mm

Vektorien määrittely

Peitteen vektorit

Tarkastellaan 12 m³ CHEM-standardin mukaista epäsymmetristä lavaa. Vektori E kulkee origosta pisteeseen, jossa peite kohtaa lavan reunan tai peitteen kiinnityspisteeseen. Lähes heti liikkeen alun jälkeen peite koskettaa lavan etureunaa. Kun varsien 1 liike lähestyy loppuaan, peite asettuu tiettyssä kohdassa vaakatasoon, jolloin vektorin E päätepiste vaihtuu lavan takayläreunaan. Peitteen reuna on kiinni ohjaamonsuojassa, joten alussa vektori on ohjaamonsuojan yläreunan ja peiterullan välillä. Lopussa peite kohtaa lavan takareunan.

Pienemmillä lavoilla peitteen kulma varsistoon nähden on erilainen, todennäköisesti niin, että voimalla on pienempi varsi nivelen A suhteen. Lisäksi peitteen voiman suuntaan vaikuttavat todellisuudessa esimerkiksi kuorman muoto, jousen väsyminen, peitteen kelautuminen tai avautuminen vinosti, jousen esikieritys yms.



Vektorin E_{front} komponentit

$E_{\text{front.x}}$: 4003mm $E_{\text{front.y}}$: 2123mm

Vektorin E_{rear} komponentit

$E_{\text{rear.x}}$: 310mm $E_{\text{rear.y}}$: 2125mm

Vektorin E_{start} komponentit

$E_{\text{start.x}}$: 3992mm $E_{\text{start.y}}$: 1458mm

Vektorin E_{final} komponentit

$E_{\text{final.x}}$: -592mm $E_{\text{final.y}}$: 1290mm

huom! kulma ϕ

Kohta, jossa vektori E vaihtuu ensimmäisen kerran (peite koskettaa lavan etuyläreunaa)

$\phi_{E.\text{change.1}}$: 4deg

Kohta, jossa vektori E vaihtuu toisen kerran (peite koskettaa lavan takayläreunaa)

$\phi_{E.\text{change.2}}$: 96deg

Vaihe 1

Koordinaatiston kiertomatriisi (z-akselin ympär $A_z(\phi)$:

$$\begin{pmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Puomiston päänivelen A paikkavektori $\vec{A} :$

$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Vaijerin ja taittopyörän kohtaamispisteen B paikkavektori $\vec{B} :$

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Peitteen ja lavan kosketuskohdan paikkavektorit E_{start} , E_{front} , E_{rear} ja E_{final} .

$$E_{\text{start}} : \begin{pmatrix} E_{\text{start.x}} \\ E_{\text{start.y}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{front}} : \begin{pmatrix} E_{\text{front.x}} \\ E_{\text{front.y}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{start}} \begin{pmatrix} 3.992 \\ 1.458 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$E_{\text{front}} \begin{pmatrix} 4.003 \\ 2.123 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$E_{\text{rear}} : \begin{pmatrix} E_{\text{rear.x}} \\ E_{\text{rear.y}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{final}} : \begin{pmatrix} E_{\text{final.x}} \\ E_{\text{final.y}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{rear}} \begin{pmatrix} 0.31 \\ 2.125 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$E_{\text{final}} \begin{pmatrix} -0.592 \\ 1.29 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Vektori nivelestä A varren 1 massakeskipisteeseen

$$\vec{r}_K : \begin{pmatrix} r_{K1} \\ r_{K2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Varren 1 painopisteen paikkavektori

$$\vec{K}(\phi) : \vec{A} + A_z(\phi) \cdot \vec{r}_K$$

$$K(0\text{deg}) \begin{pmatrix} 2.798 \\ 0.112 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$|K(0\text{deg})| \quad 2.8 \text{ m}$$

Vektori nivelestä A varren 2 massakeskipisteeseen

$$\vec{r}_H : \begin{pmatrix} r_{H1} \\ r_{H2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|K(0\text{deg})| \quad 2.8 \text{ m}$$

Varren 2 painopisteen paikkavektori

$$\vec{H}(\phi) : \vec{A} + A_z(\phi) \cdot \vec{r}_H$$

$$H(0\text{deg}) \begin{pmatrix} 3.974 \\ 1.082 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$|H(0\text{deg})| \quad 4.119 \text{ m}$$

Vektori nivelestä A peitenullan keskiakseliin

$$\vec{r}_D : \begin{pmatrix} r_{Dx} \\ r_{Dy} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{r}_D \begin{pmatrix} 2.35 \\ 2.088 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Peiterullan paikkavektori

$$D(\phi) : A + A_z(\phi) \cdot r_D$$

$$D(0\text{deg}) \begin{pmatrix} 4.174 \\ 2.146 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$|D(0\text{deg})| = 4.693 \text{ m}$$

CAD-mallin perusteella näyttää toimivan

Määritellään vakiona pysyvä vektori C

$$C_{\text{vakio}} : \begin{pmatrix} C_x \\ C_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C_{\text{vakio}} \begin{pmatrix} 1.839 \\ -0.067 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Vaijerivoiman vipuvarsi

$$AC_{\text{vakio}} : \frac{C_{\text{vakio}} - A}{|C_{\text{vakio}} - A|} \cdot r_{C.2}$$

$$AC_{\text{vakio}} \begin{pmatrix} 0.017 \\ -0.139 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$C_{\text{vakio}} - A \begin{pmatrix} 0.015 \\ -0.125 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Erikseen suunta ja suuruus, jotta vipuvarsi päivittyy, kun tehdään muutoksia parametreihin a ja b.

Vaijerin suuntavektori

$$z_2 : B - C_{\text{vakio}}$$

$$z_2 \begin{pmatrix} 1.531 \\ 0.187 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Vaijerin liike on yhtä pitkä kuin se kaari, johon vaijeri tukeutuu. Kaaren säde on vektorin r_C pituinen.

Vaijerin liike

$$\Delta L_{\text{vaijeri.v2}} : \frac{\phi_{\text{max}} - \phi_{\text{min}}}{360\text{deg}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{C.2}$$

Vaijerin suuntainen yksikkövektori

$$e_{F1.\text{vakio}} : \frac{z_2}{|z_2|}$$

$$e_{F1.\text{vakio}} \begin{pmatrix} 0.993 \\ 0.121 \\ 0 \end{pmatrix}$$

suunta oltava oikein päin!

Pisteen D ja ohjaamonsuojan yläreunan etäisyysvektori

$$ED_{\text{start}}(\phi) : E_{\text{start}} - D(\phi)$$

$$ED_{\text{start}}(0\text{deg}) \begin{pmatrix} -0.182 \\ -0.688 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Pisteen D ja peitteen ja lavan kosketuskohdan etäisyysvektori, kun peite taittuu lavan etureunasta

$$ED_{\text{front}}(\phi) : E_{\text{front}} - D(\phi)$$

$$ED_{\text{front}}(5\text{deg}) \begin{pmatrix} 0.02 \\ -0.22 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Pisteen D ja peitteen ja lavan kosketuskohdan etäisyysvektori, kun peite taittuu lavan takayläreunasta

$$ED_{\text{rear}}(\phi) : E_{\text{rear}} - D(\phi)$$

$$ED_{\text{rear}}(100\text{deg}) \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.115 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Peitteen suuntainen yksikkövektori

$$e_{F.\text{peite.start}}(\phi) : \frac{ED_{\text{start}}(\phi)}{|ED_{\text{start}}(\phi)|}$$

$$e_{F.\text{peite.start}}(0.\text{deg}) \begin{pmatrix} -0.256 \\ -0.967 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$e_{F.\text{peite.front}}(\phi) : \frac{ED_{\text{front}}(\phi)}{|ED_{\text{front}}(\phi)|}$$

$$e_{F.\text{peite.front}}(5.\text{deg}) \begin{pmatrix} 0.09 \\ -0.996 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$e_{F.\text{peite.rear}}(\phi) : \frac{ED_{\text{rear}}(\phi)}{|ED_{\text{rear}}(\phi)|}$$

$$e_{F.\text{peite.front}}(80\text{deg}) \begin{pmatrix} 0.987 \\ -0.158 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Määritellään muut laskennassa tarvittavat yksikkövektorit

$$\text{Z-akselin suuntainen yksikkövektori} \quad e_3 : \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Y-akselin suuntainen yksikkövektori} \quad e_2 : \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Rullan säteen kasvaminen ja liikkeen ajat

Alussa koko peite on rullalla, poislukien noin 1 m vapaa osuus edessä. Peitettä menee rullalle noin 7 metriä eli yhteensä peitteen pituus on noin 8 metriä 12 m² CHEM lavan mukaan mitattuna. Rullaan liitetyllä sähkömoottorin ja vaihteen muodostamalla yksiköllä kontrolloidaan liikettä kumpaankin suuntaan.

Sähkömoottorin pyörimisnopeus (rpm)

$$n_{\text{rpm}} : 60$$

Yleisesti käytetyillä peitelaitemoottoreilla nimellisnopeus on tavallisesti noin 40 tai 60 rpm (90:1 tai 60:1).
http://www.dongyangmotor.com/Tarp_System_Motors.html

Sähkömoottorin pyörimisnopeus
kierroksia/sekunti

$$n_1 : \frac{n_{\text{rpm}}}{60} \frac{1}{s} \quad 1 \frac{1}{s}$$

vrt. Skip 9000. Internet-videon
<http://www.youtube.com/watch?v=QKxZWE3HtC0>
 perusteella rulla pyörii noin 11,5 kierrosta noin 12 sekunnin aikana (koko peittoliike).

Sähkömoottorin kulmanopeus

$$\omega : 2 \cdot \pi \cdot n_1 \quad 6.283 \frac{1}{s}$$

Rullaputken halkaisija
ilman peitettä

$$D_{\text{spool},0} : 60 \text{ mm}$$

$$n_{\text{skip9000}} : \frac{11.5}{12} \quad 0.958$$

eli noin 1 kierros/s

$$R_{\text{spool},0} : \frac{D_{\text{spool},0}}{2} \quad 30 \text{ mm}$$

$$n_{\text{skip9000.rpm}} : 60 \text{ Hz} \quad 60 \frac{1}{s}$$

Rullaputken massa

$$M_{\text{spool}} : 6 \text{ kg}$$

Rullaputken halkaisija on todennäköisesti noin 60 mm (perustuu valmistajan esitteen kuvaan).

Muu kuorma varsien päässä: mahdollisesti sähkömoottori, jos ei jousta, ym. kokoonpano-osat.

$$M_{\text{kuorma.muut}} : 9 \text{ kg}$$

Skip 9000 suurin lavakoko on vakiona noin 9 m² (12 cu.yd.). Tällaisen symmetrisen lavan pituus on noin 3,7 m ja korkeus 1,6 m. Näin ollen peitettä tarvitaan vain noin 4 metriä, mikä selittää laitteen suuremman toimintanopeuden.

Peitemateriaalin tiheys

$$\rho_{\text{sheet.area}} : 0.722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (\text{mighty mesh } 722 \text{ g/m}^2)$$

Peitteen paksuus (arvio)

$$b_{\text{sheet}} : 3 \text{ mm}$$

Huom! paksuus vahvistetun reunan kohdalla

Peitemateriaalin tiheys toisin

$$\rho_{\text{sheet}} : \frac{\rho_{\text{sheet.area}}}{b_{\text{sheet}}} \quad 240.667 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Peitteen leveys

$$L_{\text{width}} : 2440 \text{ mm}$$

Toisen varren heilahduksen aikana rullalta avautuva peitteen pituus

$$L_{\text{length},2} : 1650 \text{ mm}$$

Ensimmäisen varren heilahduksen aikana rullalta avautuva peitteen pituus

$$L_{\text{length},1} : 4930 \text{ mm}$$

Mitattu CAD-mallista 12 m² epäsymmetrisen CHEM lavan kanssa.

Peitteen kokonaispinta-ala (mukana osa, joka ei mene rullalle ja vähän ylimääristä)

$$A_{\text{sheet}} : L_{\text{width}} (L_{\text{length},1} + L_{\text{length},2} + 1.5 \text{ m}) \quad 19.715 \text{ m}^2$$

Rullan säteen kasvu ja kuluva aika liikkeen 2. vaiheen aikana

Alkutilanteessa peite on kokonaan takana ja rullaputki tyhjä. Varret lähtevät heilahdusliikkeeseen kotiasemaan päin.

Rullan säde kasvaa rekursiivisesti, joten muodostetaan tämän laskemiseksi silmukka. Silmukan jokaisella kierroksella halkaisijaan lisätään 2 peitteen paksuutta. Lisäksi tarkastellaan paljonko peitettä menee rullalle. Muuttujaa s_i kasvatetaan joka kierroksella uutta halkaisijaa vastaavan kehän pituuden verran. Kun s_i ensimmäisen kerran ylittää peitelaitteen liikevaiheeseen vaadittavan peitteen pituuden, hypätään silmukan ohi ja ohjelma palauttaa rullan halkaisijan. Huom! Tämä ottaa halkaisijan laskennassa huomioon vain täydet kierrokset.

$$D_{2,\text{max}} : \begin{cases} s_i \leftarrow 0 \\ d_i \leftarrow D_{\text{spool},0} \\ \text{while } (s_i < L_{\text{length},2}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} d_i \leftarrow d_i + 2 \cdot b_{\text{sheet}} \\ s_i \leftarrow s_i + \pi \cdot d_i \end{array} \right. \\ d_i \end{cases}$$

$$\text{Sheet_on_spool}_2 : \begin{cases} s_i \leftarrow 0 \\ i \leftarrow 1 \\ d_i \leftarrow D_{\text{spool},0} \\ \text{while } (s_i < L_{\text{length},2}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} d_i \leftarrow d_i + 2 \cdot b_{\text{sheet}} \\ s_i \leftarrow s_i + \pi \cdot d_i \\ i \leftarrow i + 1 \end{array} \right. \\ s_i \end{cases} \quad \text{Sheet_on_spool}_2 \quad 1.847 \text{ m}$$

Täyden rullan ulkohalkaisijan voi laskea myös työkalulla, joka on saatavissa:
<http://www.handymath.com/cgi-bin/roll4.cgi?s>
 ubmit=Entry (antaa lähes saman tuloksen)

Silmukka laskee peitteen täysien kierrosten määrän.

```

Revolutions2 :
  si ← 0
  i ← 1
  di ← Dspool.0
  while (si < Llength.2)
    di ← di + 2 · bsheet
    si ← si + π · di
    i ← i + 1
  i ← 1
  
```

Revolutions₂ 7

Kun ollaan toisen vaiheen liikkeen lopussa (vaiheen 1 ja 2 rajalla), rullan halkaisija on

$$D_{2, \text{spool.max}} : D_{2, \text{max}} \quad 102 \cdot \text{mm} \quad R_{2, \text{max}} : \frac{D_{2, \text{spool.max}}}{2} \quad 51 \cdot \text{mm}$$

Peitteen reunan nopeus rullalta avautuessa. Nopeus heilahduksen 2 lopussa, juuri ennen liikkeen 1 alkamista.

$$v_{\text{sheet.2.max}} : \omega \cdot \frac{D_{2, \text{spool.max}}}{2} \quad 0.32 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kehänopeus heilahduksen 2 alussa, kun rullaputki on tyhjä

$$v_{\text{sheet.2.min}} : \omega \cdot \frac{D_{\text{spool.0}}}{2} \quad 0.188 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kehänopeus heilahdusliikkeessä 2 keskimäärin

$$v_{\text{sheet.2}} : \frac{v_{\text{sheet.2.max}} + v_{\text{sheet.2.min}}}{2} \quad 0.254 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Peitteen massavirta rullalta

$$m_{\text{virta.2}} : \rho_{\text{sheet}} \cdot b_{\text{sheet}} \cdot L_{\text{width}} \cdot v_{\text{sheet.2}} \quad 0.448 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

apumuuttuja, aika

$$T_x : 0$$

Rullan tilavuudeksi liikkeen 2 lopussa (=liikkeen 1 alussa) tulee

$$V_2 : b_{\text{sheet}} \cdot v_{\text{sheet.2}} \cdot L_{\text{width}} \cdot T_x$$

Tilavuus liikkeen 2 lopussa voidaan myös ilmaista seuraavassa muodossa.

$$V_2 : L_{\text{width}} \cdot L_{\text{length.2}} \cdot b_{\text{sheet}}$$

$$V_2 \quad 12.078 \text{ L}$$

$$V_2 \cdot \rho_{\text{sheet}} \quad 2.907 \text{ kg}$$

Heilahduksen ensimmäiseen vaiheeseen kuluva aika. (kotiasemasta ensimmäisen pysähtymiskohtaan) Tiettyä poikkileikkausta virtaa tilavuuden V_2 verran keskinopeudella $v_{\text{sheet.2}}$.

$$T_{2, \text{liike}} : \frac{V_2}{b_{\text{sheet}} \cdot v_{\text{sheet.2}} \cdot L_{\text{width}}} \quad 6.484 \text{ s}$$

$$b_{\text{sheet}} \cdot v_{\text{sheet.2}} \cdot L_{\text{width}} \quad 1.863 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Yhden heilahdusliikkeen aikana rullan tekemät kierrokset

$$n_{\text{heilahdus.2}} : \frac{\omega}{2\pi} \cdot T_{2, \text{liike}} \quad 6.484$$

$$m_{\text{virta.2}} \cdot T_{2, \text{liike}} \quad 2.907 \text{ kg}$$

Rullan säteen kasvu ja liikeaika liikkeen 1 aikana

Rullan säde kasvaa rekursiivisesti, joten muodostetaan tämän laskemiseksi silmukka. Lähtötietoina edellisen vaiheen lopputilanne.

$$D_{2, \text{spool.max}} \quad 0.102 \text{ m}$$

```

D1.max :
  si ← 0
  di ← D2,spool.max
  while (si < Llength.1)
    di ← di + 2 · bsheet
    si ← si + π · di
  di
  
```

```

Revolutions1 :
  si ← 0
  i ← 1
  di ← D2,spool.max
  while (si < Llength.1)
    di ← di + 2 · bsheet
    si ← si + π · di
    i ← i + 1
  i ← 1
  
```

Revolutions₁ 12

Kun peite on kokonaan rullalla, halkaisija on

$$D_{1,\text{spool.max}} : D_{1,\text{max}} \quad 174 \cdot \text{mm}$$

$$R_{1,\text{max}} : \frac{D_{1,\text{spool.max}}}{2} \quad 87 \cdot \text{mm}$$

Peitteen reunan nopeus rullalta avautuessa.
Nopeus vaiheen 1 lopussa, kotiaseman lähellä.

$$v_{\text{sheet.1.max}} : \omega \cdot \frac{D_{1,\text{spool.max}}}{2} \quad 0.547 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kehänopeus vaiheen 1 alussa

$$v_{\text{sheet.1.min}} : \omega \cdot \frac{D_{2,\text{spool.max}}}{2} \quad 0.32 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Rullan kehänopeus heilahdusliikkeessä 1 keskimäärin

$$v_{\text{sheet.1}} : \frac{v_{\text{sheet.1.max}} + v_{\text{sheet.1.min}}}{2} \quad 0.434 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Peitteen massavirta rullalta/rullalle

$$m_{\text{virta.1}} : \rho_{\text{sheet}} \cdot b_{\text{sheet}} \cdot L_{\text{width}} \cdot v_{\text{sheet.1}} \quad 0.764 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Täyden rullan tilavuudeksi tulee näin ollen

$$V_1 : b_{\text{sheet}} \cdot v_{\text{sheet.1}} \cdot L_{\text{width}} \cdot T_x$$

Rullalla olevan peitemateriaalin tilavuus liikkeen
1 lopussa.

$$V_{1,\text{ok}} : L_{\text{width}} \cdot L_{\text{length.1}} \cdot b_{\text{sheet}}$$

$$V_1 \quad 36.088 \text{ L}$$

$$V_1 \cdot \rho_{\text{sheet}} \quad 8.685 \text{ kg}$$

Heilahduksen ensimmäiseen vaiheeseen kuluva
aika
(kotiasemasta ensimmäisen pysähtymiskohtaan)

$$T_{1,\text{liike}} : \frac{V_1}{b_{\text{sheet}} \cdot v_{\text{sheet.1}} \cdot L_{\text{width}}} \quad 11.372 \text{ s}$$

Rullalle menevän peitteen kokonaistilavuus

$$V_1 + V_2 \quad 48.166 \text{ L}$$

Yhden heilahdusliikkeen aikana rullan tekemät
kierrokset

$$n_{\text{heilahdus.1}} : \frac{\omega}{2\pi} \cdot T_{1,\text{liike}} \quad 11.372$$

Rullalle menevän peitteen massa

$$(V_1 + V_2) \cdot \rho_{\text{sheet}} \quad 11.592 \text{ kg}$$

Koko heilahdusliikkeeseen kuluva aika

$$T_{1,2,\text{kok}} : T_{1,\text{liike}} + T_{2,\text{liike}} \quad 17.856 \text{ s}$$

Peitelaitteen kuormat ja voimat liikkeessä 1

Oletetaan, että varren 1 kulma vaakatasoon
nähdessä muuttuu lineaarisesti ajan kuluessa.
Kulmalla 0 halutaan ajan olevan 0.

$$T_1(\phi) : \frac{T_{1,\text{liike}}}{\phi_{\text{max}}} \cdot \phi$$

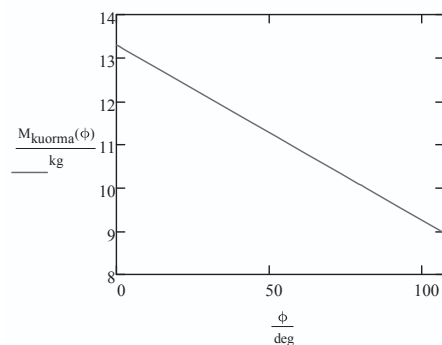
Skip 9000 -laitetta esittelevien videoiden perusteella
peitelaitteen kehikko näyttää heilahtavan melko
tasaisella liikkeellä (ilmeisesti laitteessa sähkömoottori
pyörii noin vakionopeudella).

Rullakokoonpanon massa ajan funktiona

Varren päässä oleva massa ajan funktiona.
Miinusmerkki massavirran eteen, koska
alussa rulla täynnä.

$$M_{\text{kuorma}}(\phi) : \frac{M_{\text{spool}} + M_{\text{kuorma.muut}} - m_{\text{virta.1}} \cdot T_1(\phi) + (V_1 + V_2) \cdot \rho_{\text{sheet}}}{2}$$

Jaetaan kokonaiskuorman suuruus kahdella, koska tarkastellaan puolikkaan peitelaitteen tilannetta.



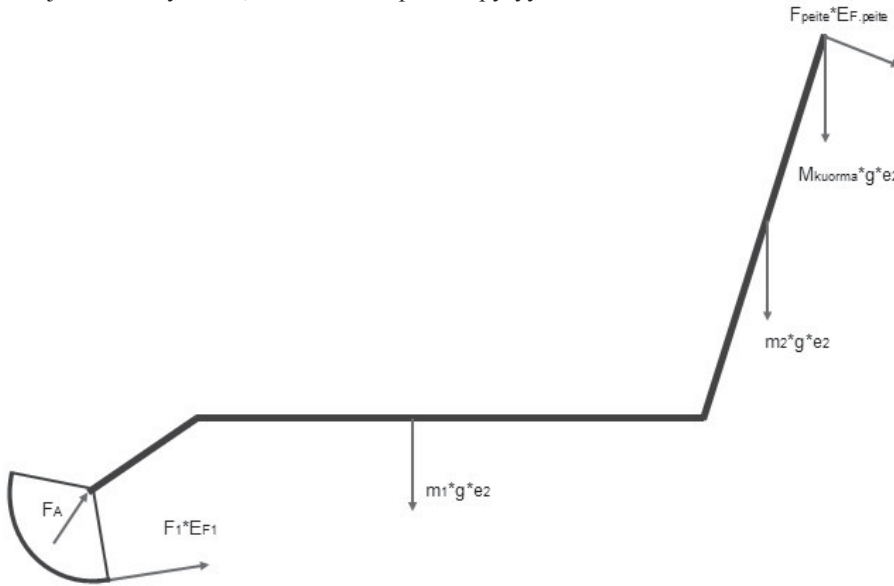
$$M_{\text{kuorma}}(0 \text{ deg}) \quad 13.296 \text{ kg}$$

$$\frac{M_{\text{spool}} + M_{\text{kuorma.muut}}}{2} \quad 7.5 \text{ kg}$$

$$\frac{(V_1 + V_2) \cdot \rho_{\text{sheet}}}{2} \quad 5.796 \text{ kg}$$

$$m_{\text{virta.1}} \cdot T_1(\phi_{\text{max}}) \quad 8.685 \text{ kg}$$

Vaijerin kiinnitys siten, että voiman vipuvarsi pysyy vakiona



Peitevoima on tässä tapauksessa pieni, koska sähkömoottorilla vain jarrutetaan liikettä. Kun varsisto liikkuu taaksepäin, peitevoima muodostuu vain rullautumisesta johtuvista kitkoista. Nämä voidaan olettaa pieniksi. Voidaan asettaa peitevoimalle jokin pieni vakioarvo.

Peitevoima

$F_{\text{peite}} : 40\text{N}$

Momenttitasapaino pisteen A suhteen.

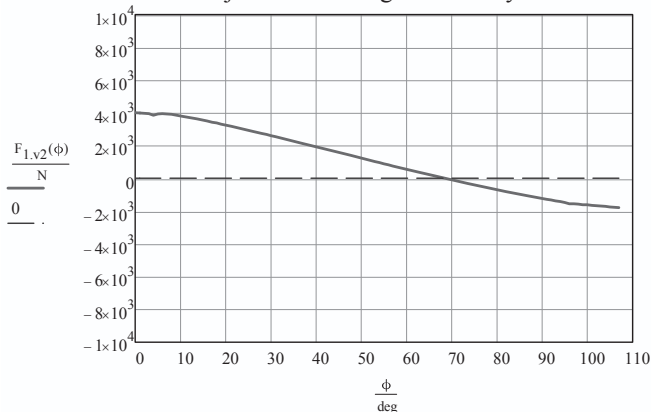


Tarkastellaan momenttitasapainoa laitteen oikeanpuoleiselta sivulta katsottuna.

Vaijerivoiman laskenta tapahtuu lähes samalla tavalla kuin sylinterivoiman laskenta hydraulissa versiossa. Nyt kuitenkin vaijerivoiman vipuvartena oleva vektori pysyy vakiona, eli ei riipu kulmasta ϕ .

$$F_{1,v2}(\phi) : \begin{cases} \frac{(M_{\text{kuorma}}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\phi) - A) \times e_{F,\text{peite.start}}(\phi) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1,\text{vakio}} \cdot e_3} & \text{if } \phi < \phi_{E,\text{change.1}} \\ \frac{(M_{\text{kuorma}}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\phi) - A) \times e_{F,\text{peite.front}}(\phi) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1,\text{vakio}} \cdot e_3} & \text{if } \phi_{E,\text{change.1}} \leq \phi < \phi_{E,\text{change.2}} \\ \frac{(M_{\text{kuorma}}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\phi) - A) \times e_{F,\text{peite.rear}}(\phi) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1,\text{vakio}} \cdot e_3} & \text{if } \phi \geq \phi_{E,\text{change.2}} \end{cases}$$

Vaijerin voima tangenttikiinnityksellä



Kuvaajasta nähdään tarvittava vetovoima, jolla peittämisliike saadaan toteutettua. Voiman suunta vaihtuu, kun painovoiman vaikutus voittaa jousien vaijeriin kohdistaman voiman.

Selvitetään suurin voima tangenttikiinnityksellä

$$F_{1, \text{voima}}(\phi) : \begin{cases} \frac{(M_{\text{kuorma}}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\phi) - A) \times e_{F, \text{peite.start}}(\phi) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1, \text{vakio}} \cdot e_3} & \text{if } \phi < \phi_{E, \text{change.1}} \\ \frac{(M_{\text{kuorma}}(\phi) \cdot g) \cdot (D(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\phi) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\phi) - A) \times e_{F, \text{peite.front}}(\phi) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1, \text{vakio}} \cdot e_3} & \text{if } \phi_{E, \text{change.1}} \leq \phi < \phi_{E, \text{change.2}} \end{cases}$$

$$F_{1, \text{voima.max}}(\zeta) : F_{1, \text{voima}}(\zeta)$$

alkuarvaus: apukulmamuuuttuja $\zeta : 0$

$$\zeta_{\text{max}} : \max(\text{Maximize}(F_{1, \text{voima.max}}, \zeta), \phi_{\text{min}})$$

Tarvittava nostavan sylinterin suurin voima

$$F_{1, v2, \text{max}} : \frac{(M_{\text{kuorma}}(\zeta_{\text{max}}) \cdot g) \cdot (D(\zeta_{\text{max}}) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_1 \cdot g) \cdot (K(\zeta_{\text{max}}) - A) \times e_2 \cdot e_3 + (m_2 \cdot g) \cdot (H(\zeta_{\text{max}}) - A) \times e_2 \cdot e_3 - F_{\text{peite}} \cdot (D(\zeta_{\text{max}}) - A) \times e_{F, \text{peite.start}}(\zeta_{\text{max}}) \cdot e_3}{AC_{\text{vakio}} \times e_{F1, \text{vakio}} \cdot e_3}$$

$$F_{1, v2, \text{max}} \quad 3.998 \cdot \text{kN}$$

Vaijeri

Lasketaan köysirummun vääntömomentti edullisemmalla vaijerin kiinnitysratkaisulla. Vaijeri kelataan köysirummulle taittopöyrien kautta. Kun kitkoja ei oteta huomioon, vaijerin voima välittyy köysirummulle sellaisenaan.

Valitaan vaijeri, joka soveltuu hyvin ulko-olosuhteisiin ja taivutukseen. Vaijerin tulee olla siis riittävän joustava.

Valitaan 7 x 19 vaijeri haponkestävästä teräksestä AISI 316

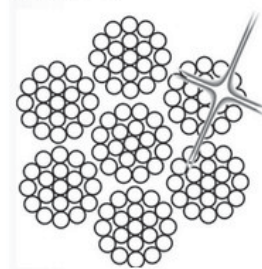
Vaijerin suurin voima

$$F_{1, v2, \text{max}} \quad 3.998 \cdot \text{kN}$$

Vaijerin nimellinen halkaisija valitaan katalogista maksivoiman perusteella. WLL = Working Load Limit eli turvallinen työkuorma. MBL = Minimum Breaking Load. Taulukossa suhde MBL/WLL = 5.

Halkaisija	Teräspoikkipinta-ala	Vähimmäismurtokuorma	Paino
Ø mm	mm²	1570 N/mm² kN	kg/ 100m
2	1,67	2,08	1,5
3	3,76	4,69	3,4
4	6,69	8,34	6,1
5	10,5	13	9,5
6	15	18,8	14
7	20,5	25,5	19
8	26,8	33,4	24
9	33,9	42,2	31
10	41,8	52,1	38
12	60,2	75,1	55
14	81,9	102	75
16	107	133	98
18	135	169	123

6x19-IWS



http://www.certex.fi/fi/haponkestavat-koydet-aisi-316/6x19-iws__11631

Käyttöalueet: Nosturit, vintturit, kulkuvaunut, nostoapuvälineet, ohjaus- ja opastinlaitteet.

Rakenne: 6x19-IWS.

Punonta: Oikeakätinen ristiinpunonta.

Materiaali: AISI 316.

Täytekerroin: 0,53.

Valitaan katalogien perusteella riittävä vaijerin paksuus. Turvallinen työkuorma SWL on nostovaijereilla tavallisesti 20 % vähimmäismurtokuormasta. Vetävän vaijerin turvakerroin saa olla 3.

<http://www.liftingsafety.co.uk/category/wire-rope-hoists-winch-1220.html>

Tarkistetaan halkaisijan riittävyys

MBL : 18.8kN

SWL : $\frac{MBL}{3}$ 6.267·kN

Vaijerin halkaisija

$d_{\text{vaijeri}} : 6\text{mm}$

Murtolujuus

$R_0 : 1570\text{MPa}$

Vaijerin vetovoima

$S_{\text{v}} : F_{1,v2,\text{max}}$

Vaijerin liikkeen suuruus

$\Delta L_{\text{vaijeri.v2}} : 261.45\text{mm}$

Käyttötarkoitus ja vaijerin rakenne määrittävät, mikä köysirummun ja vaijerin halkaisijoiden suhde tulee vähintään olla. (<http://www.loosco.com/index.php?page=pulley-diameter>)

MINIMUM SHEAVE TREAD DIAMETERS

	DESIRABLE MINIMUM (inches)			CRITICAL MINIMUM (inches)		
RATIO	42:1	24:1	12:1	28:1	18:1	10:1
CABLE Ø	6 x 7	6 x 19	6 x 31	6 x 7	6 x 19	6 x 31
(inches)	7 x 7	7 x 19	7 x 31	7 x 7	7 x 19	7 x 31
			6 x 37			6 x 37

Köysirummun tai köysipyörän minimihalkaisija

$D_{\text{pyörä}} : 24 \cdot d_{\text{vaijeri}} : 144\text{mm}$

Tehdään vaijerin laskennat perustuen teokseen:

Feyer, K. 2007. Wire Ropes: Tension, Endurance, Reliability. Springer-Verlag, Berlin. 316 p.

Lisäksi käytetään kyseisen teoksen päivitysdokumenttia

<http://www.google.fi/url?sa=t&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.uni-stuttgart.de%2Fifit%2Fforschung%2Fimg%2Ffeyrer%2Fupdate-Rope.pdf&ei=Ui0pVLfdOYO8ygOKrIKYDw&usq=AFQjCNH2mZL-fWAL43gmNf8tsmTel2hQ>

Feyer 2007, s. 211

The sheave diameter D means the distance from rope centre to rope centre as shown in Fig. 3.32. The diameter ratio D/d is normally related to the nominal rope diameter. If not defined otherwise, the sheave is made of steel with a hardened round groove, a groove radius $r = 0.53d$ (nominal rope diameter) and a groove opening angle $\gamma = 60^\circ$.

Köysipyörän uran säde tulee olla

$r_{\text{ura,optimal}} : 0.53 \cdot d_{\text{vaijeri}} : 3.18\text{mm}$

Kestoikää tulee vähentää tietyllä kertoimella, mikäli ura on väärän kokoinen

http://www.certex.fi/fi/koysi-ja-vakipyorat/koysipyora---tyyppi-6800-ll_11680

Valitaan lähellä minimihalkaisijaa oleva todellinen köysipyörä

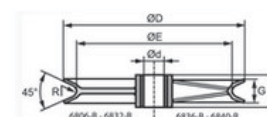
$D_{\text{pyörä}} : 125\text{mm} + d_{\text{vaijeri}} : 131\text{mm}$

$r_{\text{ura}} : 3.2\text{mm}$

joten ura on sopivan kokoinen

http://www.certex.fi/fi/koysi-ja-vakipyorat/koysipyora---tyyppi-6800-ll_11680

Köyden Ø	D	E	G	L	R	d	Paino
mm						H8	kg
5-8	155	125	24	30	3,2	15	1,4
7-8	190	160	26	40	4,3	20	2,2



Selvitetään kestoikä vaijerin halkaisijan funktion $d_{\text{test}} : 0 \text{ mm}, 1 \text{ mm}.. 20 \text{ mm}$

Vaijerin ja taittopyörän kosketuskulmaksi oletetaan 180 astetta

$$u_1 : \frac{\pi \cdot D_{\text{pyörä}}}{2} \quad 205.774 \text{ mm}$$

TAI otetaan kosketuskulma CAD-ohjelmasta

$$u_{\text{TAI}} : \pi \cdot D_{\text{pyörä}} \cdot \left(\frac{170.2}{360} \right) \quad 194.571 \text{ mm}$$

Jotta laskenta voidaan tehdä, on vaijerin taivutusmatkan oltava $l > 10d$.

$$10 \cdot d_{\text{vaijeri}} \quad 60 \text{ mm}$$

Jotta saadaan positiivisia tuloksia ja $l > 10d$ toteutuu on iskunpituutena käytettävä todellista suurempaa arvoa.

$$h_{\text{isku}} : 255 \text{ mm}$$

Taivutuspituus (vaijerin osa, jolle tulee taivutusta toimintasyklin aikana) (s. 268-269)

$$l_{\text{taivutus}} : h_{\text{isku}} - u_1 \quad 60.429 \text{ mm}$$

Kun l_{taivutus} suurenee, pienenee vaijerin kestoikä (1 viimeisen termin nimittäjässä). Tämän takia siis vaijerin pitäisi kestää todellisuudessa pitempään kuin laskettu arvo.

Feyer, K. Wire Ropes. päivitysdokumentti sivu 2

The available number of rope bending cycles is

$$\lg N = a_0 + \left(a_1 + a_3 \cdot \lg \frac{D}{d} \right) \cdot \left(\lg \frac{S}{d^2} - 0.4 \cdot \lg \frac{R_0}{1770} \right) + a_2 \cdot \lg \frac{D}{d} + \lg f_d + \lg f_l \quad (3.55)$$

With

d	in mm	nominal rope diameter for $d \geq 6 \text{ mm}$
D	in mm	sheave diameter $D = D_0 + d$ with D_0 for the sheave diameter related to the groove ground
S	in N	rope tensile force
R_0	in N/mm ²	nominal tensile strength
l	in mm	rope bending length for $l \geq 10 d$

The wire rope is well-lubricated with viscous oil or vaseline. The sheaves have steel grooves, $r = 0,53d$. The constants a_i are listed in the following Table 3.14.

In the equation (3.55) have to be set in:

- the bending factor for the influence of the rope diameter

$$f_d = \frac{0.52}{-0.48 + (d/16)^{0.3}}$$

- and the bending factor for the influence of the rope bending length

$$f_l = \frac{1.54}{254 \cdot \left(\frac{l/d - 2.5}{5.5} \right)^{-0.14}}$$

Vaijeriin vaikuttaa yhdistetty muuttuva vetojännitys ja taivutus

Lasketaan kerroin f_{s5} , jolla suurin taivutusjännitys on kerrottava.

Vaijerin vetovoiman vaihtelu syklin aikana $\Delta S : F_{l,v2,max} - 0 \text{ N} \quad 3.998 \times 10^3 \cdot \text{N}$

$$\delta_{\text{per}_d \text{ vaijeri}} : 12.5$$

Katsotaan kerroin a taulukosta s. 273.

$$a_{\text{kerroin}} : 2.24$$

Käytetään tässä konservatiivisesti 6 säikeisen vaijerin arvoa (filler, IWRC = independent wire rope core)

$$f_{s5} : 1 + \frac{\left(1.31 - 0.0014 \cdot a_{\text{kerroin}} \cdot \frac{\frac{\Delta S}{N}}{\frac{d_{\text{vaijeri}}^2}{\text{mm}^2}} \right) \cdot \left(1.1 \cdot \frac{\frac{\Delta S}{N}}{\frac{d_{\text{vaijeri}}^2}{\text{mm}^2}} - 0.1 \cdot \frac{\frac{S}{N}}{\frac{d_{\text{vaijeri}}^2}{\text{mm}^2}} \right) \cdot a_{\text{kerroin}}}{145000 \cdot \delta_{\text{per}_d \text{ vaijeri}} \cdot \frac{d_{\text{vaijeri}}}{D_{\text{pyörä}}} + 600 \cdot \delta_{\text{per}_d \text{ vaijeri}} + 0.2 \cdot a_{\text{kerroin}} \cdot \frac{\frac{S}{N}}{\frac{d_{\text{vaijeri}}^2}{\text{mm}^2}}}$$

$$f_{s5} \quad 1.003$$

→ Koska kerroin on hyvin lähellä yhtä, voidaan käyttää suoraan suurimman taivutusjännityksen arvoa.

Katsotaan taulukosta 3.14 (s. 274) kertoimet kestoian laskentaan. Valitaan taulukosta lähimpänä valitun vaijerin konstruktioa olevan vaijerin kertoimet. Vaijerin rakenne on sZ eli right hand ordinary lay (säikeet kiertyvät oikeakätisesti ja yksittäiset langat vasenkätisesti). Lasketaan N_{10} käyttöikä eli syklien lukumäärä, jonka 90 % vaijereista kestää.

Valitaan taulukosta 8 x 19, IWRC, Filler. Tämä antaa todellisuutta suuremman kestoian. Suurempi säikeiden lukumäärä parantaa taivutuksen kestoia, koska vaijerin ja taittopöyrän kontaktipinta-ala on suurempi.

Table 3.14 Constants for calculating the number of bending cycles
a) Breaking number of bending cycles N

Rope class	a_0 for N		a_0 for N_{10}		a_1	a_2	a_3
	sZ	zZ	sZ	zZ			
cross lay 6x19 FC	-0.809	-	-1.338	-	0.875	6.480	-1.850
	-	-0.658	-	-1.132	0.562	6.430	-1.628
Seale 8x19	-1.949	-1.726	-2.279	-2.056	1.280	8.562	-2.625
Filler 8x(19+8F) FC	-1.728	-1.505	-2.058	-1.835			
Warr. 8x19	-1.728	-1.505	-2.058	-1.835	0.096	7.078	-1.920
Warr.-Seale 8x36	0.809	0.917	0.479	0.587			
Seale 8x19	-1.772	-1.712	-2.131	-2.071	1.290	8.149	-2.440
Filler 8x(19+6F) IWRC	-1.684	-1.624	-2.043	-1.983			
Warr. 8x19	-1.684	-1.624	-2.043	-1.983	0.029	6.241	-1.613
Warr.-Seale 8x36	1.278	1.332	0.919	0.973			
Spiral round-strand rope	18x7	-	-2.541	-2.837	1.566	9.084	-2.811
	34x7	-	-1.063	-1.574	1.351	7.652	-2.485

taivutuskerroin vaijerin halkaisijan vaikutuksesta

$$f_d : \frac{0.52}{-0.48 + \left(\frac{d_{\text{vaijeri}}}{16} \right)^{0.3}} \quad 1.962$$

taivutuskerroin vaijerin taivutuspituuden vaikutuksesta

$$f_{l,\text{taivutus}} : \frac{1.54}{2.54 + \left(\frac{l_{\text{taivutus}}}{d_{\text{vaijeri}} - 2.5} \right)^{-0.14}} \quad 0.44$$

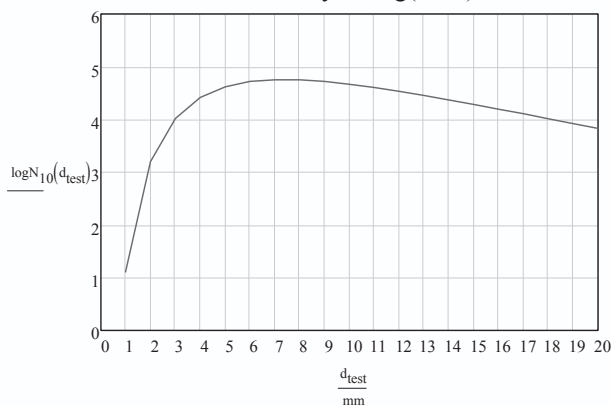
Huom! l = pieni L, ei numero yksi

$$a_0 : -2.043 \quad a_1 : 1.290 \quad a_2 : 8.149 \quad a_3 : -2.440$$

Testattu laskentaa muutamilla eri vaijerien kertoimilla: 6x19 cross lay ja 8x36. Muutoksilla ei ole suurta vaikutusta kestoikään.

$$\log_{10}(d_{\text{test}}) : a_0 + \left(a_1 + a_3 \cdot \log \left(\frac{D_{\text{pyörä}}}{d_{\text{test}}} \right) \right) \cdot \left(\log \left(\frac{\frac{S}{N}}{\frac{d_{\text{test}}^2}{\text{mm}^2}} \right) - 0.4 \cdot \log \left(\frac{R_0}{1770 \text{ MPa}} \right) \right) + a_2 \cdot \log \left(\frac{D_{\text{pyörä}}}{d_{\text{test}}} \right) + \log(f_d) + \log(f_{l,\text{taivutus}})$$

Taivutussyklist log(N.10)



Taivutussyklejä tulee kaksi per edestakainen peitelaitteen liike. Näin ollen kestoikä saadaan jakamalla kuvaajan arvot kahdella.

Katsotaan arvo valitun vaijerin halkaisijan kohdalta (trace-työkalu)

$$\log_{10} N_{10} : 4.720$$

<--- Tarkista jos muutoksia parametreihin!

$$N_{\text{kestoikä.10}} : \frac{10^{\log_{10} N_{10}}}{2} = 2.624 \times 10^4$$

Skiploaderin halutaan kestävän vähintään 10 vuotta. Oletetaan noin 260 päivää käyttöä vuodessa. Oletetaan kuljetettavan noin 8-10 lavaa päivässä. --> noin 20800-26000 peitelaitteen käyttökertaa (peitto + avausliike).

----> Todetaan, että valittu vaijeri kestää.

Taittopöyrän halkaisijan ja uran koon tulee olla oikeanlaiset ja vaijeria on huollettava käyttöiän aikana (esim. voitelu).

Voitelemattomuus pienentää käyttöikää merkittävästi. Feyrer 2007 (Müller 1966 mukaan) mukaan vaijeri kestää voitelemattomana vain 20 % verrattuna voideltuun.

$$N_{\text{kesto. voitelematon}} : 0.2 \cdot N_{\text{kestoikä.10}} = 5.248 \times 10^3$$

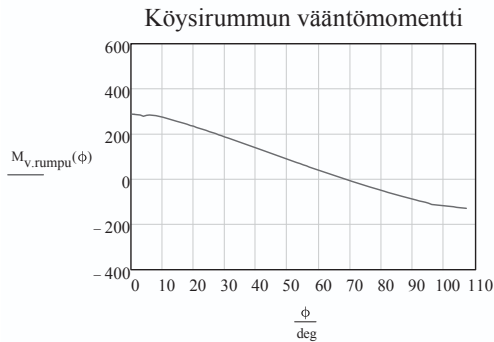
Köysirummun vääntömomentti

köysirummun halkaisija $D_{\text{rumpu}} : 144 \text{ mm}$ köysirummun kehän pituus $s_{\text{rumpu}} : \pi \cdot D_{\text{rumpu}} 452.389 \text{ mm}$

köysirummun pyörehdysliike 1. heilahduksen aikana

$$\alpha_1 : \frac{\Delta L_{\text{vaijeri.v2}}}{s_{\text{rumpu}}} \cdot 360 \text{ deg} \quad 208.056 \cdot \text{deg}$$

Köysirummulle tarvittava vääntömomentti $M_{v,\text{rumpu}}(\phi) : F_{1,v2}(\phi) \cdot \left(\frac{D_{\text{rumpu}}}{2} \right)$



Köysirummulle tarvittava vääntömomentti pienenee peiteliikkeen edetessä, joten myös jousten voima saa vastaavasti vähentyä. Vääntäjousilla voima pienenee luonnollisesti vääntökulman pienentyessä.

$$M_{v,\text{rumpu,max}}(\psi) : M_{v,\text{rumpu}}(\psi)$$

alkuarvaus: apukulmamuuttuja $\psi : 0$

Tarvittava köysirummun suurin momentti

$$\psi_{\text{max}} : \max(\text{Maximize}(F_{1,\text{voima,max}}, \psi), \phi_{\text{min}})$$

$$M_{v,\text{rumpu,max.1}} : F_{1,v2}(\psi_{\text{max}}) \cdot \left(\frac{D_{\text{rumpu}}}{2} \right)$$

$$M_{v,\text{rumpu,max.1}} \quad 287.868 \cdot \text{Nm}$$

Valitaan vaijerirummun jouset

Lesjörorsin jousikatalogi
<http://catalog.lesjoforsab.com/Default.aspx>



t	b	A	r	n	B	C	D	R	N_c maks. 10 000 Vääntö- kulma kun M_n	M_n Nmm	N_c maks. 100 000 Vääntö- kulma kun M_n	M_n Nmm	Art.nro
2,5	15	28	48	5	10	10,4	15	79,5	265	21094	212	16875	0932
2,5	25	28	48	5	10	10,4	15	132,5	265	35156	212	28125	0933
2,5	15	28	76	8	10	10,4	15	34,2	617	21094	494	16875	0934
2,5	25	28	76	8	10	10,4	15	57	594	33854	475	27083	0935
3	18	32	60	5	12	12,5	18	139,2	262	36450	210	29160	0936
3	30	32	60	5	12	12,5	18	232	262	60750	210	48600	0937
3	18	32	90	8	12	12,5	18	62,8	581	36450	465	29160	0938
3	30	32	90	8	12	12,5	18	104,6	581	60750	465	48600	0939

Esimerkiksi valituista jousista alempi.

- max vääntö 48.6 Nm
- leveys 30 mm
- halkaisija noin 120 mm

Tarvittava jousien kappalemäärä per puoli

$$\frac{M_{v,\text{rumpu,max.1}}}{48.6 \text{ Nm}} \quad 5.923$$

Jousia tarvitaan siis yhdelle puolelle 6 kpl, ja näiden yhteisleveydeksi tulee 180 mm.